

ELABORACION DE UN PLAN DE CALIDAD PARA LAS CONSTRUCCIONES SOLDADAS EN LA EMPRESA PRODIMETAL LTDA.

JEISSON ANDRES CALDERON GARCIA
Ingeniero mecánico

UNIVERSIDAD LIBRE DE COLOMBIA
FACULTAD DE POSTGRADOS
ESPECIALIZACION EN SOLDADURA
BOGOTA
2011

ELABORACION DE UN PLAN DE CALIDAD PARA LAS CONSTRUCCIONES SOLDADAS EN LA
EMPRESA PRODIMETAL LTDA.

JEISSON ANDRES CALDERON GARCIA
Ingeniero mecánico

Monografía para la obtención del título de especialista en soldadura

Asesor:
Héctor Fernando Rojas
Ingeniero metalúrgico

UNIVERSIDAD LIBRE DE COLOMBIA
FACULTAD DE POSTGRADOS
ESPECIALIZACION EN SOLDADURA
BOGOTA
2011

Nota de aceptación:

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Bogotá
10 de diciembre de 2011

Contenido

RESUMEN	9
INTRODUCCIÓN	10
1. ANTECEDENTES.....	11
1. JUSTIFICACIÓN	12
2. OBJETIVOS.....	13
2.1. OBJETIVO GENERAL.....	13
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
3. MARCO REFERENCIAL	14
3.1. SOLDADURA POR ARCO DE METAL PROTEGIDO (SMAW).....	14
3.1.1. Descripción del proceso	14
3.1.2. Principios de funcionamiento.....	14
3.1.3. Capacidades y limitaciones del proceso	16
3.1.4. Materiales soldables con SMAW.....	17
3.1.5. Espesores recomendados para soldar con SMAW	17
3.1.6. Posición de soldadura.....	17
3.1.7. Electrodo cubiertos para SMAW	20
3.1.8. Calidad de la soldadura con procedimiento SMAW.....	21
3.1.9. Discontinuidades en la soldadura.....	22
3.2. LA GESTIÓN DE LA CALIDAD	27
3.2.1. Evolución del concepto de calidad	27
3.2.2. La calidad y su gestión	29
3.2.3. Costos de la calidad y de la no calidad	30
3.2.4. Enfoque de sistemas de gestión de la calidad	32
4.2.4.1 Enfoque basado en procesos	33
4. MARCO METODOLÓGICO.....	35
4.2. TIPO DE INVESTIGACION	35
4.3. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN	35
4.4. TÉCNICA DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN	35

5. MARCO LEGAL Y NORMATIVO.....	36
6. PLAN DE CALIDAD PARA LAS CONSTRUCCIONES SOLDADAS EN LA EMPRESA PRODIMETAL LTDA.....	37
6.2. DIAGNÓSTICO INICIAL DEL ESTADO DE LA GESTIÓN DE LA CALIDAD EN LA EMPRESA PRODIMETAL LTDA	37
6.3. ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL DE LA EMPRESA Y FUNCIONES.....	38
6.3.4. Organigrama	38
6.3.5. Funciones.....	38
6.4. CARACTERIZACION DEL PROCESO DE ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD	40
6.5. REQUERIMIENTOS DE PERSONAL PARA ÁREA DE SOLDADURA	40
6.6. CALIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTOS Y DE SOLDADORES.....	43
6.6.4. Calificación de procedimientos de soldadura	43
6.6.5. Calificación de soldadores	44
6.6.6. Criterios de aceptación en calificación de procedimientos de acuerdo al código ASME IX. " <i>WELDING AND BRAZING QUALIFICATIONS</i> "	45
6.7. INSPECCION EN FABRICACION	47
6.7.4. Inspección antes de la soldadura.....	47
7.6.2 Inspección durante la soldadura	49
7.6.3 Reportes de inspección y control	51
8 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	52
GLOSARIO	53
BIBLIOGRAFÍA	54
ANEXOS.....	55
ANEXO A. CERTIFICACION LABORAL POR COMPETENCIAS DEL SENA.....	56
ANEXO B. ORGANIGRAMA PRODIMETAL LTDA	57
ANEXO C. DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE FABRICACION	58
ANEXO D. WPS Y PQR PRODIMETAL LTDA.....	59
ANEXO E. MEDIDAS PARA MATRIZ DE DOBLEZ SEGÚN ASME 2010 SECCION IX	60

LISTA DE FIGURAS

Pág.

Figura 1. Elementos de un circuito de soldadura típico para soldadura por arco de metal protegido.	15
Figura 2. Posiciones para ranura en platina	18
Figura 3. Posiciones para ranura en tubería	18
Figura 4. Posiciones para filete en platina	18
Figura 5. Posiciones para filete en tubería	19
Figura 6. Especificación A5.1	21
Figura 7. Porosidad en cordón de soldadura.....	22
Figura 8. Inclusión de escoria	23
Figura 9. Fusión incompleta	24
Figura 10. Fusión incompleta en la cara de la raíz.....	24
Figura 11. Socavado	25
Figura 12. Tipos de grietas	26
Figura 13. Salpicadura.....	27
Figura 14. Técnicas de diseño para la calidad y su interrelación	29
Figura 15. Etapas de la implantación de la calidad en la producción	30
Figura 16. Modelo de un sistema de gestión de la calidad basado en procesos.....	33
Figura 17. Desperdicio de consumible.....	37
Figura 18. Manipulación inadecuada de consumibles.....	38
Figura 19. Preparación de la probeta para la calificación del procedimiento.....	44
Figura 20. Resultado de ensayo de dobléz de cara y raíz.....	45
Figura 21. Carta de indicaciones redondeadas.....	49

LISTA DE TABLAS

Pág.

Tabla 1. Especificaciones de la AWS para electrodos cubiertos.....	20
Tabla 2. Resumen evolución de la calidad	29
Tabla 3. Costos totales de la calidad.....	32
Tabla 4. Diagrama de flujo del proceso de aseguramiento de la calidad.....	41

LISTA DE ANEXOS

Pág.

ANEXO A..... 37

ANEXO B..... 38

ANEXO C..... 40

ANEXO D 43

ANEXO E..... 45

RESUMEN

En primer lugar se muestran las diferentes variables que intervienen en el proceso de soldadura SMAW y pueden llegar a afectar su calidad, a continuación se da referencia acerca del concepto de calidad, su evolución, su aplicación, su control, su valor, su interacción con todos los miembros de una empresa.

El presente trabajo se inicia realizando un diagnostico que contempla la actualidad del control de calidad que se está efectuando en la empresa PRODIMETAL LTDA. Con esta información se realiza un análisis para identificar que procesos se deben crear o modificar para establecer un sistema de calidad acorde a las necesidades de la empresa y de los clientes. Con la información recolectada luego de este análisis inicial se presenta una propuesta de plan de calidad dirigido al control y aseguramiento de las construcciones soldadas, enfocado a ser aplicado en empresas de la industria metalmecánica. La propuesta busca generar una vinculación total de cada miembro de la empresa con la idea de calidad total.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad son mayores los esfuerzos que deben realizar las pequeñas y medianas empresas del área de metalmecánica para mantenerse en el mercado de la fabricación de equipos petroleros. Debido a que los requerimientos de los clientes son cada vez mayores y al vertiginoso avance tecnológico en los procesos de fabricación que solo puede ser adquirido por empresas con un gran poder económico. Aunque con la sola adquisición de esta tecnología no se garantiza la permanencia en el mercado, la tecnología debe ir acompañado o integrada con una estructura organizacional bien definida y un sistema de administración que permita ser competitivo.

Un sistema de aseguramiento de calidad no se debe ver como un sobre costo, si no como una herramienta que le ofrecerá a la empresa la posibilidad de enfocar todos sus recursos hacia la satisfacción del cliente y al impulso de la mejora continua en los procesos. Se debe concientizar a cada miembro de la empresa que los costos por la falta de calidad son mucho más elevados que implementar un control de calidad adecuado, ya que con un adecuado sistema y control la empresa lograra una reducción de costos debidos a no conformidades, fluidez y efectividad de procesos tanto productivos como administrativos, buena coordinación entre procesos internos, coherencia de las actividades realizadas y organización a todo nivel, lo que representa dinero que podría ser enfocado a mejoras de la empresa en todas las áreas de la empresa.

Un buen control de calidad permitiría competir sin la necesidad de tener o adquirir tecnología de punta, ya que con la implementación de un sistema de calidad los procesos serían más ágiles, los costos de fabricación bajarían y se cumpliría con todas las expectativas de los clientes, generando una buena reputación de la empresa.

1. ANTECEDENTES

Los sistemas de aseguramiento de la calidad son herramientas de vital importancia en la actualidad ya que permiten el control, diagnóstico y mejora continua en los procesos o productos de cualquier tipo de empresa u organización. Existen muchas normas/guías que dan pautas para implementar un sistema de aseguramiento de la calidad, pero estas deben ser adaptadas a cada tipo de empresa o actividad económica y esto si no se encuentra contemplado en ninguna norma o guía, la mayoría de las empresas guardan con el mayor de los recelos sus procesos y estándares para asegurar la calidad, por lo cual cada empresa debe partir de estos estándares internacionales y ajustarlos a sus necesidades

La empresa PRODIMETAL LTDA, tiene como principal actividad, la elaboración de tanques atmosféricos tanto horizontales, como verticales, de baja capacidad, hasta 10000 galones, con proyección para empezar a incursionar en la elaboración de tanques presurizados y tanques de gran capacidad para montaje en sitio. La empresa maneja tres tipos de procesos de soldadura, electrodo manual revestido (SMAW), con una de aplicación casi del 90% en los procesos de fabricación, soldadura por arco de metal y gas (GMAW) con un 10% de aplicación y soldadura por arco con núcleo fundente (FCAW), con protección gaseosa, el cual está en proceso de implementación.

La empresa nunca ha contado con un plan de aseguramiento de la calidad, lo cual ha sido impedimento para un mayor crecimiento económico y limita la participación en el mercado de las licitaciones o participación en proyectos con empresas que exigen este tipo de aseguramiento o estándares de calidad elevados, la ausencia de dicho aseguramiento desencadena sobrecostos y fallas o no conformidades detectadas por los clientes cuando los equipos ya son entregados que generan mal nombre a la empresa.

1. JUSTIFICACIÓN

Durante los últimos años, empresas de todo el mundo cada vez más han buscado mecanismos o métodos para lograr satisfacer con mayor eficacia y eficiencia los requerimientos de sus clientes, pero durante mucho tiempo no se contaba con una referencia estandarizada sobre calidad que pudieran ser consultados como guías para saber cómo se podía alcanzar y mantener la calidad en los procesos y productos de las empresas, lo que generaba diferencia en los conceptos y el manejo de parámetros de calidad, en la actualidad existen organizaciones internacionales encargadas de desarrollar y publicar estándares de calidad, facilitando la unificación de las propias normas y buscando la incorporación de estas a cualquier tipo de empresa, servicio, proceso o producto, para beneficiar tanto al fabricante como al cliente

A pesar de que en la actualidad se cuentan con estándares para la implementación y el control de la calidad, como los estándares ISO 9000. Muchas industrias en Colombia no cuentan con un apropiado control de procesos de soldadura, en las construcciones en acero uno de los parámetros más críticos es la soldadura, este es un proceso que contempla muchos factores para su óptima aplicación, estos factores deben ser debidamente controlados para garantizar que las propiedades mecánicas de la soldadura sean por lo menos iguales a las del o los metales base que se van a unir mediante un proceso de soldadura, lo que genera en diseños sobredimensionados o en otros casos que no cumplan con los parámetros requeridos para el servicio que la estructura va a prestar, lo que puede generar riesgos para la integridad de las personas, pérdidas de dinero, la no conformidad del cliente, excesos de desperdicios, etc., por esto, existen normas o estándares internacionales específicos para el proceso de soldadura, que han buscado una homogeneidad en los criterios de aceptación para los procesos de soldadura, a su vez existen organismos que buscan desarrollar estándares en áreas más generales, como el de la implementación y el control de calidad que se puede aplicar para cualquier tipo de proceso o empresa, facilitando la interacción entre los múltiples componentes que se involucran en dichos procesos o empresas, para aumentar la eficiencia, reducir tiempos y costos, que sin tener un apropiado control sería imposible si quiera reconocer las prácticas inapropiadas que generan pérdidas de tiempo y de dinero. Un apropiado control de calidad garantizaría una alta competitividad de las empresas, ya que en la actualidad el mercado de las estructuras metálicas tiene mucha demanda y las empresas de otros países están entrando con nuevas tecnologías y elevados estándares de calidad.

En la empresa PRODIMETAL LTDA, es necesario implementar un plan para el aseguramiento de la calidad que permita a la empresa incursionar en nuevos mercados y consolidarse como una empresa de renombre en el ámbito de la metalmecánica de equipos petroleros en el país e incluso internacionalmente. El proyecto no llegara hasta la aplicación del programa que se planteara, será una guía metodológica que sirva de base a la empresa PRODIMETAL LTDA, para ser base para la aplicación de un sistema integral de gestión de la calidad, en el desarrollo de este documento se encontraran documentos o información que ya se empieza a implementar en la empresa, lo cual fue autorizado por la empresa.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GENERAL

Elaborar un plan de calidad para las construcciones soldadas en la empresa PRODIMETAL LTDA

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Realizar un diagnóstico del estado actual de la empresa PRODIMETAL LTDA en procesos de control de calidad en el área de las construcciones soldadas.

Especificar el procedimiento para la calificación de procedimiento y de soldadores

Detallar un procedimiento general para la aplicación de soldadura en la producción de las construcciones soldadas

Calificar procedimiento de soldadura para proceso SMAW

Identificar la función / funciones de cada uno de los involucrados en el proceso de soldadura

3. MARCO REFERENCIAL

3.1. SOLDADURA POR ARCO DE METAL PROTEGIDO (SMAW)

Como se mencionó con anterioridad la empresa se encuentra distribuida de la siguiente manera en cuanto a los procesos de soldadura se refiere: electrodo manual revestido (SMAW), con una de aplicación casi del 90% en los procesos de fabricación, soldadura por arco de metal y gas (GMAW) con un 10% de aplicación y soldadura por arco con núcleo fundente (FCAW), con protección gaseosa, el cual está en proceso de implementación. Por lo cual solo se referirá el proceso SMAW en el cual se enfocara el desarrollo del sistema de calidad.

3.1.1. Descripción del proceso

La soldadura por arco de metal protegido (*shielded metal arc welding* SMAW) es un proceso de soldadura por arco en el que se produce coalescencia de metales por medio de calor de un arco eléctrico que se mantiene entre la punta de un electrodo cubierto y la superficie del metal base en la unión que se está soldando.

El núcleo del electrodo cubierto consiste en una varilla de metal solida de material estirado o colado, o bien una varilla fabricada encerrando metal en polvo en una funda metálica. La varilla del núcleo conduce la corriente eléctrica al arco y suministra metal de aporte a la unión. Las funciones principales de la cobertura del electrodo son estabilizar el arco y proteger el metal derretido de la atmosfera por medio de los gases que se crean cuando el recubrimiento se descompone por el calor del arco.

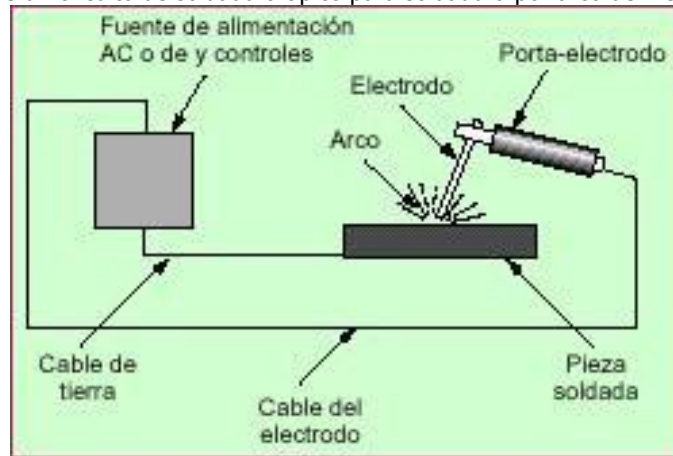
La protección empleada, junto con otros ingredientes de la cobertura y del alambre del núcleo, controlan en gran medida las propiedades mecánicas, la composición química y la estructura metalúrgica del metal de soldadura, así como las características de arco del electrodo. La composición de la cobertura del electrodo varía dependiendo del tipo de electrodo.¹

3.1.2. Principios de funcionamiento

Aprovecha el calor del arco para derretir el metal base y la punta de un electrodo consumible cubierto. El electrodo y la pieza de trabajo forman parte de un circuito eléctrico que se muestra en la **figura 1**. Este circuito comienza con la fuente de potencia de conexión eléctrica e incluye los cables de soldadura, un porta electrodos, una conexión con la pieza de trabajo, la pieza de trabajo y un electrodo de soldadura por arco. Uno de los dos cables de la fuente de potencia se conecta a la pieza de trabajo; el otro se conecta al porta electrodos.

¹ AMERICAN WELDING SOCIETY, manual de soldadura tomo I, Bogotá D.C, Prentice-hall hispanoamericana, S.A, 1996.

Figura 1. Elementos de un circuito de soldadura típico para soldadura por arco de metal protegido.



Fuente: Manual de soldadura *American Welding Society*

La soldadura se inicia cuando se enciende un arco eléctrico entre la punta del electrodo y la pieza de trabajo. El intenso calor del arco derrite la punta del electrodo y la superficie de la pieza de trabajo cerca del arco. En la punta del electrodo se forman con rapidez pequeños glóbulos de metal fundido, los cuales se transfieren a través del chorro del arco hasta el charco de soldadura fundida. De esta forma se deposita el metal de aporte conforme el electrodo se va consumiendo. El arco se mueve sobre la pieza de trabajo con una longitud de arco y velocidad de desplazamiento apropiadas, derritiendo y fusionando una porción del metal base y añadiendo continuamente metal de aporte. Puesto que el arco es uno de los más calientes que producen las fuentes de calor comerciales, la fusión del metal base se efectúan en forma casi instantánea al iniciarse el arco. Si las soldaduras se hacen en posición plana u horizontal, la transferencia de metal es inducida por la fuerza de la gravedad, la expansión del gas, fuerzas eléctricas y electromagnéticas y la tensión superficial. Si se suelda en otras posiciones, la gravedad actuara oponiéndose a las demás fuerzas.

El proceso requiere suficiente corriente eléctrica para derretir tanto el electrodo como una cantidad adecuada del metal base. También requiere un espacio apropiado entre la punta del electrodo y el metal base o el charco de soldadura. Estos requisitos son necesarios para establecer las condiciones en que se llevara a cabo la coalescencia. Los tamaños y tipo de los electrodos para soldadura por arco de metal protegido definen los requerimientos de voltaje (dentro del intervalo global de 16 a 40 V) y de amperaje (dentro del intervalo global de 20 a 550 A) del arco. La corriente puede ser alterna o continua, dependiendo del electro empleado, pero la fuente de potencia debe ser capaz de controlar el nivel de corriente dentro de un intervalo razonable para responder a las complejas variables del proceso de soldadura en sí.²

² IBID

3.1.3. Capacidades y limitaciones del proceso

Es uno de los procesos más ampliamente utilizados, sobre todo para soldaduras cortas en trabajos de producción, mantenimiento y reparación, y para construcción en el campo. Las siguientes son ventajas del proceso:

- El equipo es relativamente sencillo, económico y portátil.
- El electrodo cubierto proporciona el metal de aporte y el mecanismo para proteger dicho metal y el metal de soldadura contra una oxidación perjudicial durante la soldadura
- No se requiere protección con un gas auxiliar ni un fundente granular
- El proceso es menos sensible al viento y las corrientes de aire que los procesos de soldadura por arco protegidos con gas
- Se puede utilizar en áreas de acceso limitado
- El proceso es adecuado para la mayor parte de los metales y aleaciones de uso común.

Existen electrodos de SMAW para soldar aceros al carbono y de baja aleación, aceros inoxidable, hierro colado, cobre y níquel y sus aleaciones, y para algunas aplicaciones de aluminio. Los metales de bajo punto de fusión, como el plomo, el estaño y el cinc y sus aleaciones, no se sueldan con SMAW por que el intenso calor del arco es demasiado para ellos. El proceso no es apropiado para metales reactivos como el titanio, zirconio, tántalo y colombio por que la protección es insuficiente para evitar que la soldadura se contamine con oxígeno.

Los electrodos cubiertos se producen en longitudes de 230 a 460 mm. Al encenderse inicialmente el arco, la corriente fluye a lo largo de todo el electrodo; por tanto, la cantidad de corriente que puede aprovecharse esta limitada por la resistencia eléctrica del alambre del núcleo. Un amperaje excesivo sobrecalienta el electrodo y descompone su cobertura. Esto, a su vez, altera las características del arco y de la protección que se obtiene. Por esta limitación las tasas de deposición suelen ser más bajos que con un proceso como GMAW (*gas metal arc welding*).

El ciclo de trabajo del operador y las tasas de deposición globales para los electrodos cubiertos suelen menores que los alcanzables con un proceso de electrodo continuo como FCAW (flux core arc welding). Esto se debe a que los electrodos solo pueden consumirse hasta una cierta longitud mínima. Una vez alcanzada esa longitud, el soldador deberá desechar la cola del electrodo no consumida e insertar un electrodo nuevo en el porta electrodo. Además, casi siempre debe eliminarse escoria en los puntos donde se inicia y se detiene, y antes de depositar una franja de soldadura junto a otra previamente depositada, o sobre ella.³

³ IBID

3.1.4. Materiales soldables con SMAW

El proceso SMAW se usa para aplicaciones de unión y recubrimiento sobre diversos metales base. La idoneidad del proceso para un metal base específico depende de la disponibilidad de un electrodo cubierto cuyo metal de aporte tenga la composición y propiedades requeridas. Hay electrodos para los siguientes metales base:

- Aceros al carbono
- Aceros de baja aleación
- Aceros resistentes a la corrosión
- Hierros colados (dúctiles y grises)
- Aluminio y aleaciones de aluminio
- Cobre y aleaciones de cobre
- Níquel y aleaciones de níquel

Se dispone de electrodos para la aplicación a estos mismo metales de recubrimientos resistentes al desgaste, el impacto o la corrosión.⁴

3.1.5. Espesores recomendados para soldar con SMAW

El procedimiento de arco de metal protegido se puede adaptar a materiales de cualquier espesor dentro de ciertos límites prácticos y económicos. Si el espesor es menor a 1.6 mm (1/16 de pulgada), el metal base se fundirá de lado a lado y el metal derretido se perderá a menos que se empleen procedimientos de fijación y soldadura especiales. No hay un límite superior para el espesor, pero otros procesos como SAW (sumerged arc welding) o FCAW puede ofrecer mayores tasas de deposición y ahorros para casi todas las aplicaciones en las que intervienen espesores de más de 38 mm (1,5 pulgadas). La mayor parte de las aplicaciones de SMAW implican espesores de entre 3 y 38 mm (1/8 y 1.5 pulgadas), excepto cuando la configuración de las piezas de trabajo es irregular. Estas configuraciones representan una desventaja de tipo económico para los procesos de soldadura automatizados, y en tales casos es frecuente usar el proceso por arco de metal protegido para soldar materiales de hasta 250 mm (10 pulgadas) de espesor.⁵

3.1.6. Posición de soldadura

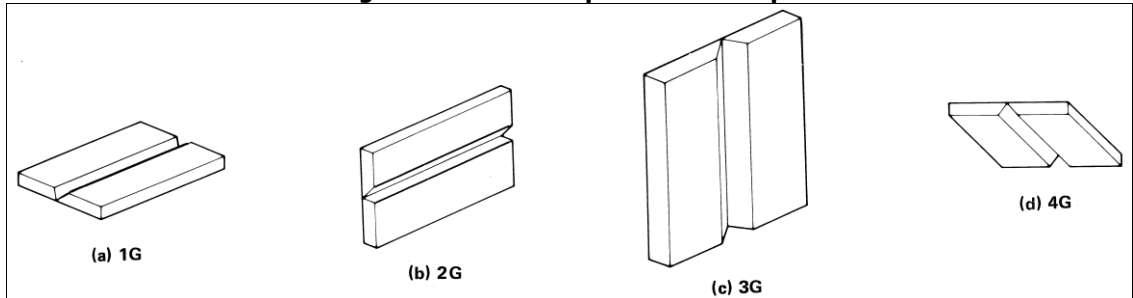
Una de las ventajas importantes de SMAW es que puede soldarse en cualquier posiciones con la mayor parte de los materiales para los que el proceso es apropiado. Esto hace que el proceso sea de utilidad para soldar uniones que no se pueden colocar en la posición plana. A pesar de esta ventaja, es recomendable soldar en la posición plana siempre que resulte práctica por que se requiere menos habilidad y es posible usar electrodos más grandes que ofrecen mayores tasas de deposición. Las soldaduras en posición vertical o

⁴ IBID

⁵ IBID

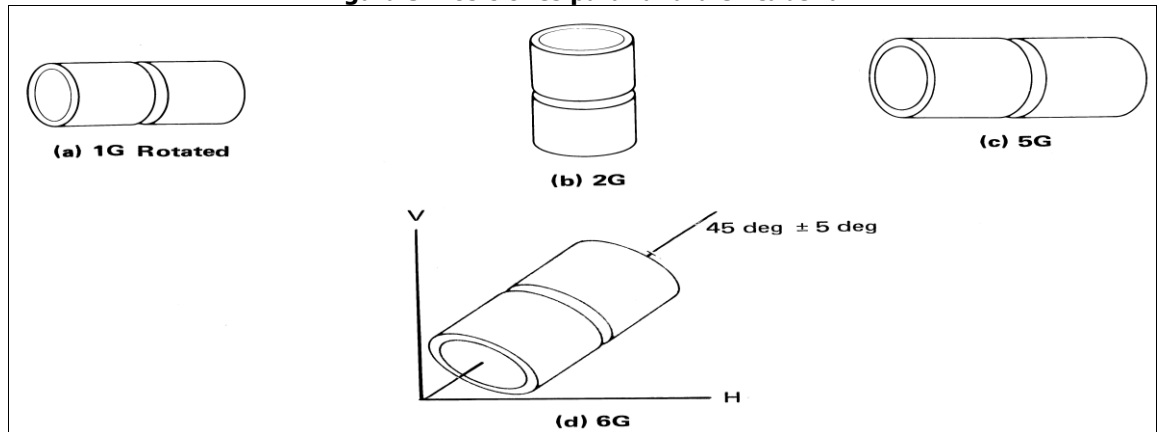
por encima de la cabeza (cenital) requieren mayor habilidad por parte del soldador y se realizan con electrodos de menor diámetro. Los diseños de las uniones para soldar vertical y cenital pueden ser diferentes de los apropiados para soldar en la posición plana.⁶

Figura 2. Posiciones para ranura en platina



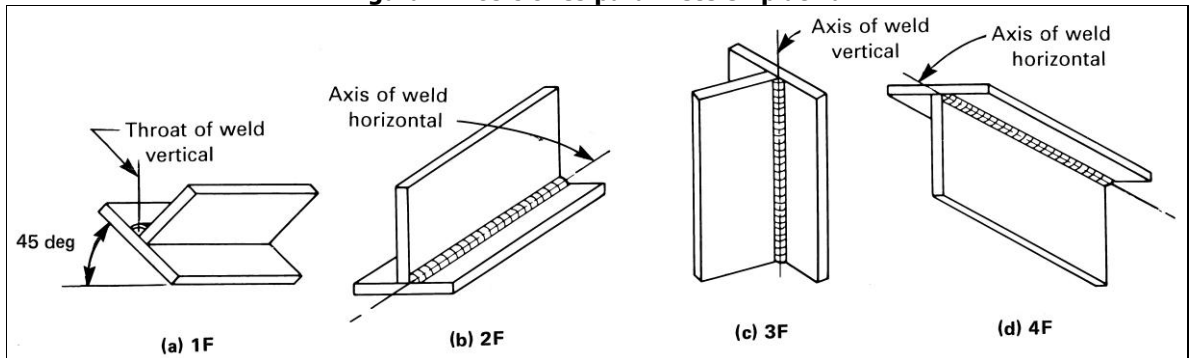
Fuente: Código ASME 2010 Sección IX. *Qualification Standard for Welding and Brazing Procedures, Welders, Brazers, and Welding and Brazing Operators*

Figura 3. Posiciones para ranura en tubería



Fuente: Código ASME Sección IX. *Qualification Standard for Welding and Brazing Procedures, Welders, Brazers, and Welding and Brazing Operators*

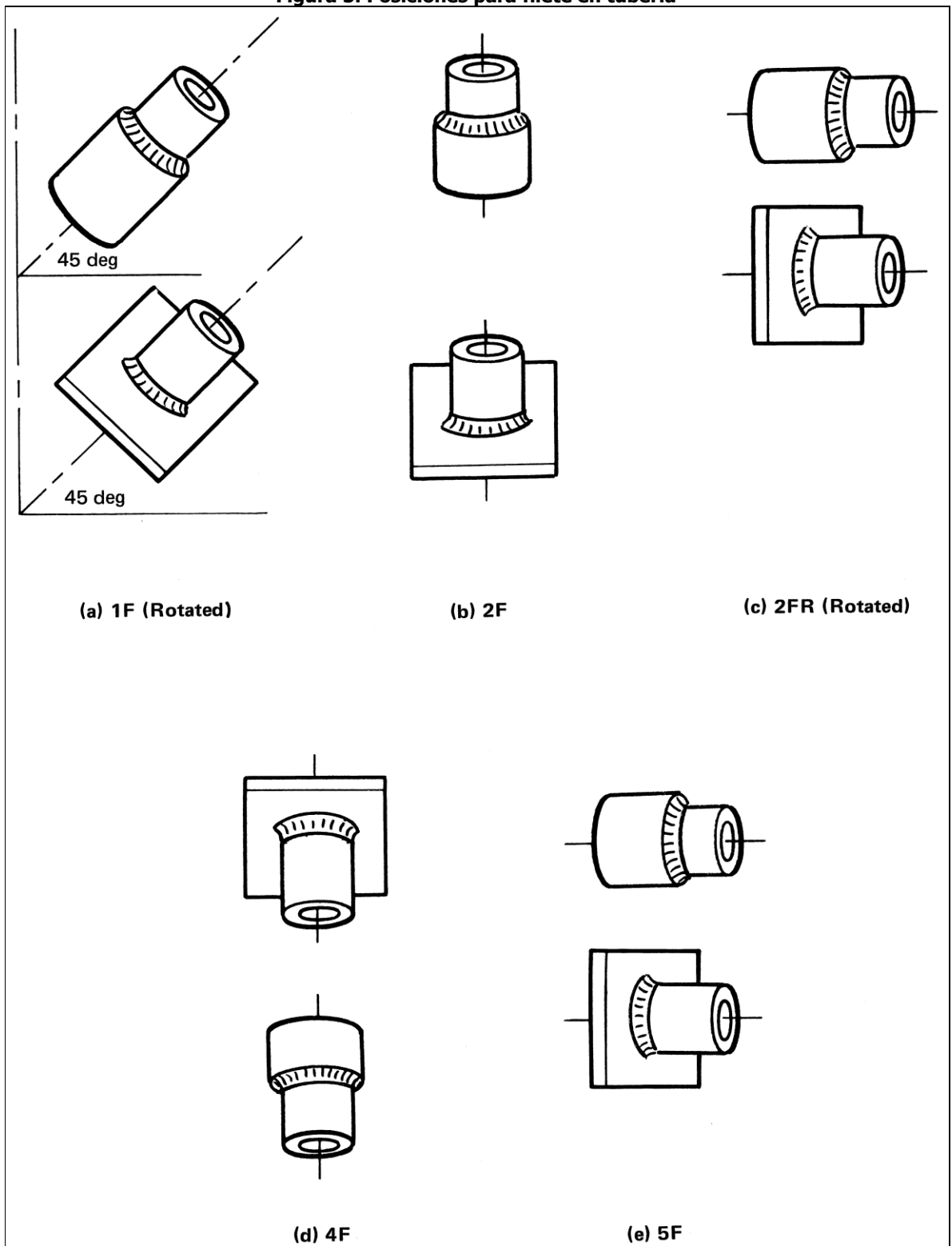
Figura 4. Posiciones para filete en platina



Fuente: Código ASME 2010 Sección IX. *Qualification Standard for Welding and Brazing Procedures, Welders, Brazers, and Welding and Brazing Operators*

⁶IBID

Figura 5. Posiciones para filete en tubería



Fuente: Código ASME 2010 Sección IX. *Qualification Standard for Welding and Brazing Procedures, Welders, Brazers, and Welding and Brazing Operators*

3.1.7. Electrodo cubiertos para SMAW

Los electrodos cubiertos se clasifican de acuerdo con los requisitos de especificaciones emitidas por la *American Welding Society*. Ciertas agencias del departamento de defensa de Estados Unidos también emiten especificaciones para los electrodos cubiertos. Los números de especificación de la AWS y las clasificaciones de electrodos correspondientes se dan en la **tabla 1**. Los electrodos se clasifican con base en la composición química o en las propiedades mecánicas, o ambas cosas, de su metal de soldadura sin diluir. Los electrodos de aceros al carbono, acero de baja aleación y acero inoxidable también se clasifican de acuerdo con el tipo de corriente de soldadura en las que pueden emplearse.⁷

Tabla 1. Especificaciones de la AWS para electrodos cubiertos

Tipo de electrodo	Especificación de la AWS
Acero al carbono	A5.1
Acero de baja aleación	A5.5
Acero resistente a la corrosión	A5.4
Hierro colado	A5.15
Aluminio y aleaciones de aluminio	A5.3
Cobre y aleaciones de cobre	A5.6
Níquel y aleaciones de níquel	A5.11
Recubrimiento	A5.13 Y A5.21

Fuente: Manual de soldadura *American Welding Society*

3.1.7.1. Electrodo de acero al carbón

Ya que este tipo de electrodos son los más utilizados en la empresa se trataran a fondo.

En AWS 5.1, se usa un sencillo sistema de numeración para clasificar los electrodos. Como se muestra en la **figura 2**. Los electrodos de acero al carbono tienen dos niveles de resistencia mecánica: la serie 60 y la serie 70. La resistencia a la tensión mínima permisible para el metal de soldadura de la serie 60 es de 62 Ksi (427 MPa), aunque un alargamiento adicional puede permitir que algunos de estos bajen hasta 60 Ksi (414 MPa). Para la serie 70, es 72 Ksi (496 MPa) y, una vez más, algunos de estos pueden bajar hasta 70 Ksi (483 MPa) con alargamiento adicional. En cuanto a la composición química, los límites superiores para los elementos significativos se dan dentro de las especificaciones AWS aplicables a la mayor parte de las clasificaciones de electrodos.

La mayor parte de los electrodos está diseñada para soldar en todas las posiciones. Sin embargo, los que contienen grandes cantidades de hierro en polvo u óxido de hierro en el recubrimiento generalmente están restringidos a soldaduras de surco en la posición plana y a soldadura de filetes horizontales. Las coberturas de estos electrodos son muy gruesas, lo que impide su uso en las posiciones vertical y arriba de la cabeza.

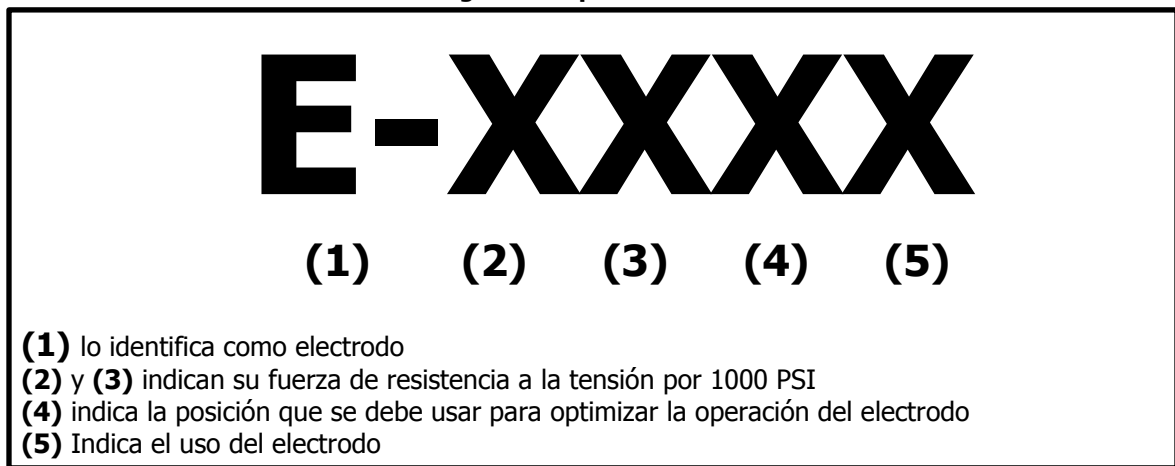
Varios electrodos de la serie 70 son del tipo de bajo hidrogeno. Sus recubrimiento tienen ingredientes con bajo contenido de humedad y de celulosa y, por tanto, de hidrogeno. El

⁷ IBID

hidrogeno produce la baja ductilidad y el agrietamiento de la franja inferior que en ocasiones se observan en soldaduras muy restringidas. Por esta razón, los electrodos de bajo hidrogeno se usan para soldar aceros endurecibles; también se usan para soldar aceros de bajo azufre y para aportar metal de soldadura con buena tenacidad de muesca a baja temperatura.

La especificación no fija un límite para el contenido de humedad de estos electrodos, pero se recomienda que sea menor que el 0,6%. Para controlar la humedad es necesario un almacenamiento y manejo correctos; las condiciones de almacenamiento y cocimiento típicas se dan en AWS A5.1⁸

Figura 6. Especificación A5.1



Fuente: AWS especificación A 5.1

3.1.8. Calidad de la soldadura con procedimiento SMAW

La unión soldada debe tener las cualidades necesarias para desempeñar su función esperada en servicio. Para ello la unión ha de poseer las propiedades físicas y mecánicas requeridas, y para esto pueden ser necesarias ciertas microestructuras y composición química. También son importantes el tamaño y la forma de la soldadura, así como la integridad de la unión tal vez se necesite resistencia a la corrosión. En todos estos aspectos influyen los materiales base, los materiales de soldadura y la manera de soldar.

La soldadura por arco de metal protegido es un proceso manual, y la calidad de la unión depende de la habilidad del soldador que la produce. Por esta razón, es preciso seleccionar con cuidado los materiales que se usaran, el soldador debe ser apto, y el procedimiento que use debe ser el correcto.

Las uniones soldadas por su naturaleza, contienen discontinuidades de diversos tipos y tamaños. Por debajo de cierto nivel aceptable, estas no se consideran perjudiciales; por encima de ese nivel, se consideran defectos. El nivel de aceptación puede variar con la

⁸ IBID

severidad de las condiciones de servicio, pero lo más común es que se base en requisitos de los contratos de fabricación o en un código o especificación determinados.⁹

3.1.9. Discontinuidades en la soldadura

En las soldaduras hechas con el procedimiento SMAW a veces se encuentran las siguientes discontinuidades:

- **Porosidad:** Este término se emplea para describir las bolsas de gas o huecos en el metal de soldadura. Estos son el resultado de la formación de gases por ciertas reacciones químicas que ocurren durante la soldadura. Contienen gas en vez de sólidos, y en este sentido se distinguen de las inclusiones de escoria. Por lo general puede prevenirse empleando el amperaje apropiado y manteniendo el arco con una longitud correcta. En muchos casos también resultan útiles los electrodos secos.¹⁰

Figura 7. Porosidad en cordón de soldadura



Fuente: <http://image.thefabricator.com/a/22-possibles-causas-de-la-porosidad>

- **Inclusiones de escoria:** este término se emplea para describir los óxidos y sólidos no metálicos que a veces quedan atrapados en el metal de soldadura entre franjas adyacentes o entre el metal de soldadura y el metal base. Durante la deposición y subsecuente solidificación del metal de soldadura, tienen lugar muchas reacciones químicas. Algunos de los productos de estas reacciones son compuestos no metálicos sólidos insolubles en el metal fundido. En virtud de su menor peso específico relativo, estos compuestos flotarían sobre el metal derretido si no es que se quedan atrapados dentro de él.

⁹ AMERICAN WELDING SOCIETY, manual de soldadura tomo I, Bogotá D.C, Prentice-hall hispanoamericana, S.A, 1996.

¹⁰ INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS Y CERTIFICACION, NTC: 229 Soldadura. Terminología y definiciones, Bogotá D.C, ICONTEC, 1986.

La acción de la agitación del arco puede hacer que la escoria que se forma a partir de la cobertura de los electrodos de arco de metal protegido se meta debajo de la superficie del metal derretido. También si el soldador no es cuidadoso, la escoria puede fluir hacia delante del arco.

La mayor parte de las inclusiones de escoria pueden prevenirse con una buena práctica de soldadura y, en áreas problema, preparando debidamente el surco antes de depositar la siguiente franja de metal de soldadura. En estos casos, debe tenerse cuidado de corregir los perfiles que sean difíciles de penetrar como es debido con el arco.¹¹

Figura 8. Inclusión de escoria



Fuente: Guía técnica colombiana 110, guía para la inspección visual de soldaduras

- **Fusión incompleta:** se refiere a la incapacidad para fusionar franjas adyacentes de metal de soldadura, o el metal de soldadura con el metal base. Se puede tratar de una condición localizada o generalizada, y puede ocurrir en cualquier lugar del surco de soldadura. Incluso puede ocurrir en la raíz de la unión. Puede deberse a que el metal base o la franja de metal de soldadura previamente depositada no se elevó al punto de fusión. La causa también puede ser que, por carencia de fundente, no se disolvieran los óxidos o demás materiales extraños que podrían estar presentes en la superficie que debe fusionarse con el metal de soldadura.

Esta puede evitarse asegurándose de que las superficies por soldar estén debidamente preparadas y embonadas, y que estén lisas y limpias. En el caso de fusión incompleta en la raíz, las correcciones deben asegurar que la cara de la raíz no sea demasiado grande, que la abertura de la raíz no sea demasiado angosta, que el electrodo no sea demasiado grande, que la corriente de soldadura no sea demasiado baja y que la velocidad de recorrido no sea demasiado rápida.¹²

¹¹ IBID

¹² IBID

Figura 9. Fusión incompleta



Fuente: Guía técnica colombiana 110, guía para la inspección visual de soldaduras

Figura 10. Fusión incompleta en la cara de la raíz



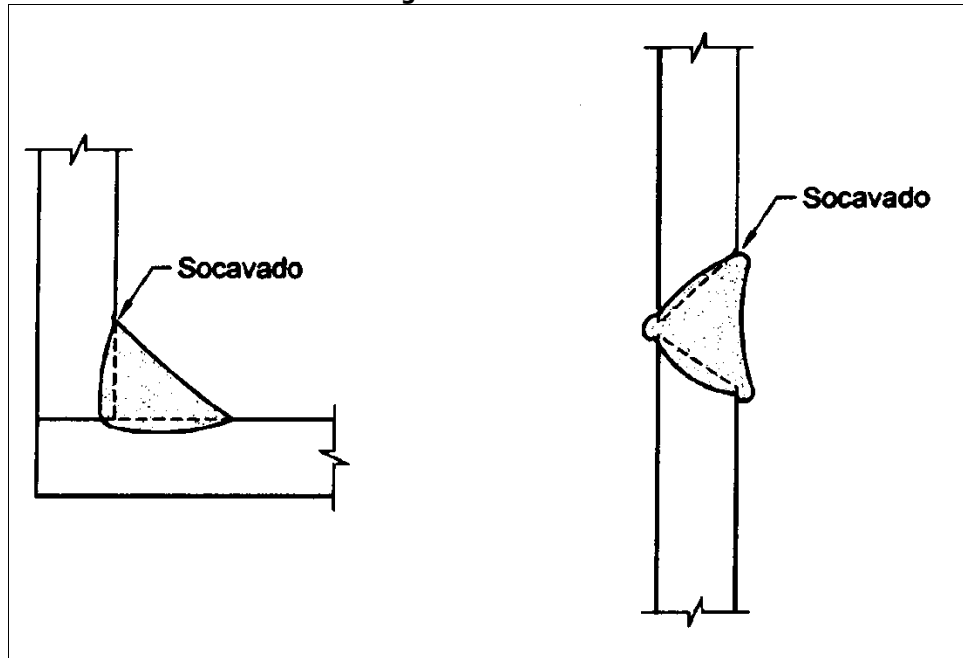
Fuente: Guía técnica colombiana 110, guía para la inspección visual de soldaduras

- **Socavamiento:** Es una muesca fundida dentro del metal base, adyacente al borde o a la raíz de la soldadura que deja una concavidad en el metal de aporte, algunas causas son:
 - Técnicas inapropiadas de soldadura corriente excesiva o ambas.
 - En soldadura de filete o en ranura a tope, en posición horizontal o vertical se da por exceso de corriente.
 - Por incorrecto movimiento al soldar en posición vertical.
 - Al pretender producir una soldadura de filete, ya sea horizontal o vertical, con un cateto superior a 9mm.
 - Incorrectas posiciones de soldeo, ángulo incorrecto del electrodo, manipulación inapropiada del gas protector, velocidades demasiado lenta.
 - Excesiva temperatura liberada en los bordes del metal base, en procesos de soldadura con precalentamiento.

El grado de socavamiento que se permite en una soldadura terminada por lo regular está determinado por el código de fabricación empleado, y es necesario

seguir los requisitos especificados porque un socavamiento excesivo puede reducir apreciablemente la resistencia mecánica de la unión. Esto es aún más importante en aplicaciones sujetas a fatiga. Por fortuna, este tipo de socavamiento puede detectarse mediante un examen visual de la soldadura terminada, y puede corregirse mediante abrasión de fusonado o depositando una franja adicional.¹³

Figura 11. Socavado



Fuente: Guía técnica colombiana 110, guía para la inspección visual de soldaduras

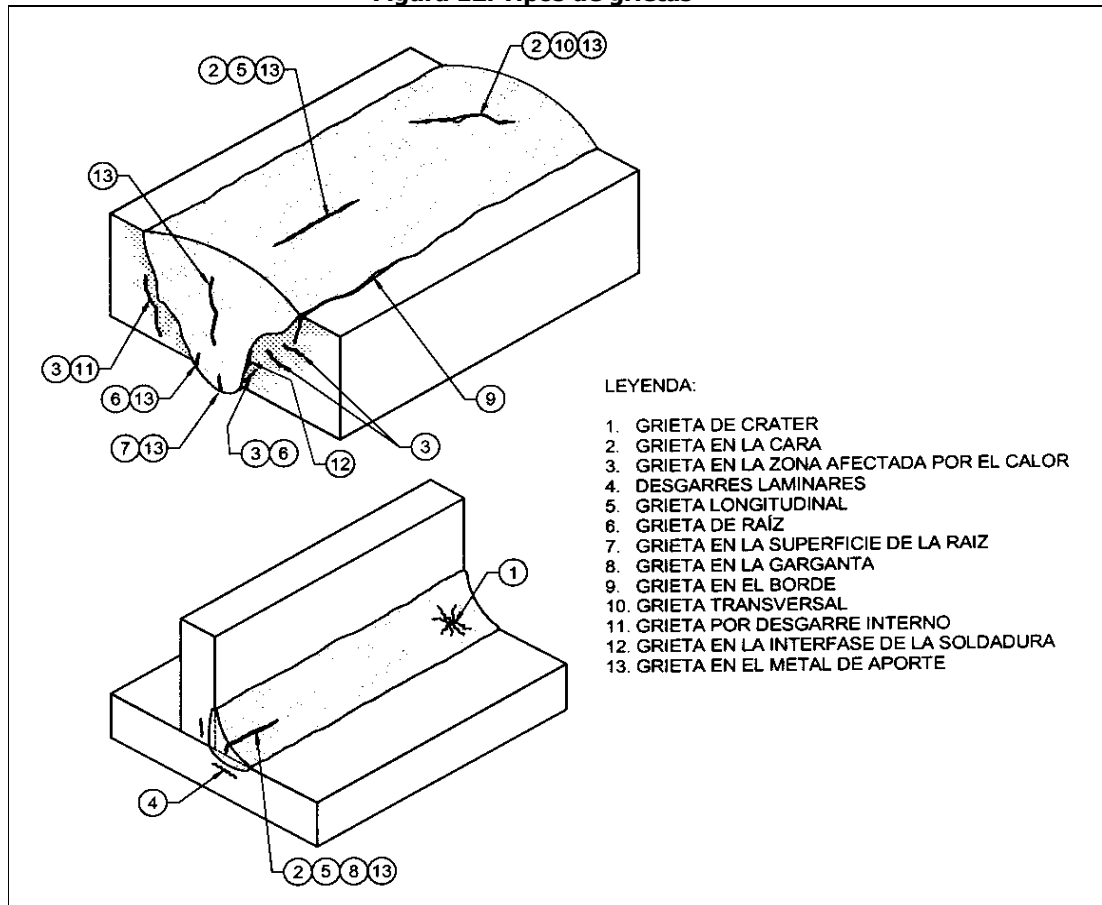
- **Grietas:** Es el defecto más temido en las uniones soldadas, debido a que en una amplia gama de aplicaciones se debe anticipar la aparición de grietas para ser evitadas o al menos detectadas o removidas. Las grietas representan una falla bajo esfuerzos de un metal base, cuando los esfuerzos localizados excedan el esfuerzo último del metal. Las grietas son generalmente esperadas en una zona de amplificación de esfuerzos cerca de las discontinuidades en el metal base o el de soldadura, o cerca de entallas mecánicas asociadas con el diseño de la soldadura.

Sus principales causas son la baja ductilidad en dirección del espesor de la chapa laminada. Esta causa es debido a delgadas zonas de inclusiones no metálicas, el Diseño incorrecto de la junta, los Altos esfuerzos residuales en juntas restringidas o embridadas ya que los esfuerzos pueden incrementarse con uniones soldadas o estructuras sin suficiente grado de libertad.¹⁴

¹³ IBID

¹⁴ IBID

Figura 12. Tipos de grietas



Fuente: Guía técnica colombiana 110, guía para la inspección visual de soldaduras

- **Salpicadura:** Consisten en partículas de metal expelidas durante la fusión, que no forman parte de la soldadura. Las salpicaduras que se adhieren al metal base son del interés del Inspector Visual. Sus principales causas son algunas Condiciones incorrectas de soldeo, como energía excesiva, demasiada longitud del arco, sopleo magnético en el arco, Soldadura contaminada como por ejemplo con electrodos húmedos, Por la excesiva cantidad de gases liberados al enfriar rápidamente, Reacciones entre ciertos elementos en el metal, por ejemplo debido a sulfuros y gases en la atmósfera que rodea la soldadura.¹⁵

¹⁵ IBID

Figura 13. Salpicadura



Fuente: Guía técnica colombiana 110, guía para la inspección visual de soldaduras

3.2. LA GESTIÓN DE LA CALIDAD

Para la ISO 9000, la gestión de la calidad es un conjunto de elementos mutuamente relacionados o que interactúan para establecer la política y los objetivos y para lograr dichos objetivos, para dirigir y controlar a un conjunto de personas e instalaciones con una disposición de responsabilidades, autoridades y relaciones con respecto a la calidad.¹⁶ La calidad puede definirse como el conjunto de características que posee un producto o servicio, así como su capacidad de satisfacción de los requerimientos del usuario.

3.2.1. Evolución del concepto de calidad

Se pueden establecer cuatro etapas de la evolución del concepto de calidad:

3.2.1.1. Inspección

Verificación de todos los productos de salida, se realiza una labor de filtrado de todos los productos para garantizar que solo accedan al mercado aquellos en perfectas condiciones, genera un nivel bajo de calidad, pero supone un coste alto.

¹⁶ INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS Y CERTIFICACION, NTC-ISO 9000: sistemas de gestión de la calidad. Fundamentos y vocabulario, Bogotá D.C, ICONTEC, 2005.

4.2.4.2. Control del producto

Supone una reducción de las tareas de inspección, no deja de ser un simple control de los productos de forma estadística. Los defectos siguen existiendo y de lo único que trata es de detectarlos antes de que lleguen a los consumidores, mediante una verificación de las muestras seleccionadas.

4.2.4.3. Control de procesos

En esta etapa la calidad de los productos ya no se controla únicamente al final del proceso, si no que este se verá sometido a un control a lo largo de dicha cadena de producción para evitar los defectos o el incumplimiento de las especificaciones de los productos. La calidad en esta etapa no solo es competencia del departamento de calidad, sino que además participan otros departamentos como producción, I+D, compras y marketing, precisa incluso la implicación de los proveedores. La calidad se planifica desde el diseño, lo que disminuye drásticamente el número de fallos y defectos.

4.2.4.4. Gestión de la calidad total (GCT)

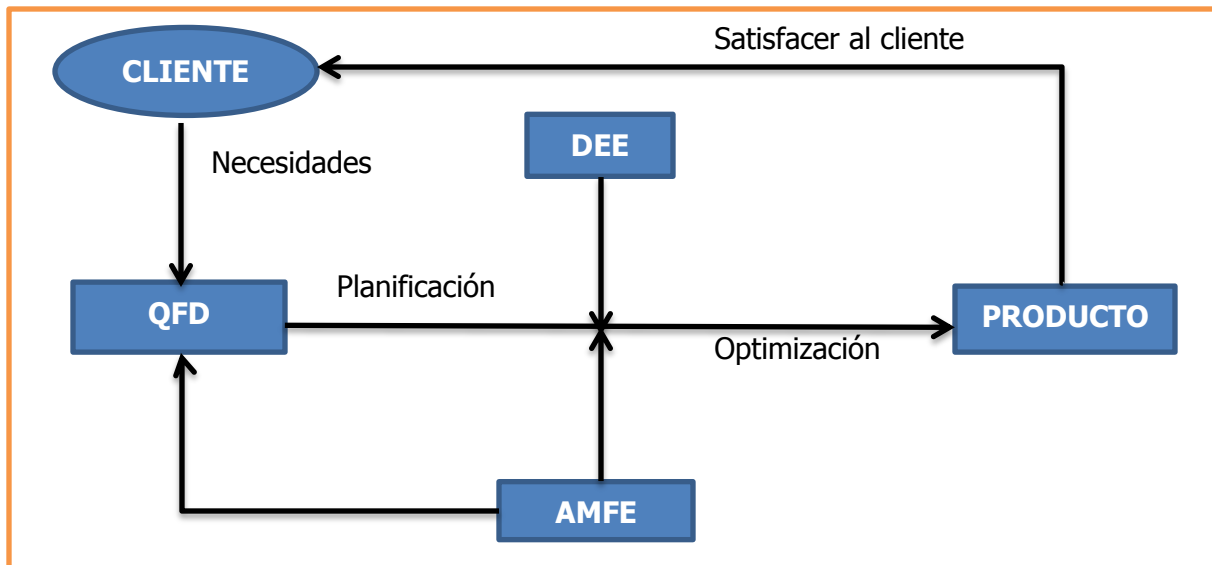
Acá la calidad se extiende a toda la empresa en su crecimiento conceptual y en sus objetivos. En los desarrollos más recientes correspondientes a esta etapa aparecen técnicas que permiten introducir la calidad antes de llevar a cabo el proceso: en la etapa de diseño y desarrollo de producto y del mismo proceso, lo que permite alcanzar un elevado nivel de calidad a costes muy bajos. destacan las técnicas QFD, DEE y AMFE, que constituyen las herramientas de la calidad del futuro. En la **figura 14**. Se observa la relación entre todas estas herramientas para lograr la plena satisfacción de los requerimientos del cliente para un producto determinado.

El QDF, también conocido como despliegue de las funciones de calidad, ofrece un método para traducir estas expectativas del cliente en especificaciones y transmitirlos a todas las funciones involucradas. El DEE (diseño estadístico de experimentos) es una herramienta de optimización de diseños que nos permite reducir la variabilidad de los factores que intervienen en el diseño del producto y del proceso. El AMFE es una herramienta de prevención de fallos derivados de un diseño, pues evalúa de forma sistemática todos los posibles modos y causas de fallo y sus consiguientes efectos, aplicable al diseño de producto y de proceso, y nos asegura la calidad de los distintos puntos de las etapas de desarrollo del producto.¹⁷

En la **tabla 2**. Se puede ver en resumen las características de cada etapa de la evolución de la calidad

¹⁷ CUATRECASAS, Lluís, gestión integral de la calidad: implementación, control y certificación, Barcelona, Profit editorial, 2010

Figura 14. Técnicas de diseño para la calidad y su interrelación



Fuente: gestión integral de la calidad. Implantación, control y certificación

Tabla 2. Resumen evolución de la calidad

	Objetivos	Orientación	Implicación	Métodos
Gestión de la calidad total	Impacto estratégico	Satisfacción plena del cliente	Toda la organización	Planificación estratégica
Control del proceso	Organización y coordinación	Aseguramiento y prevención	Dep. de calidad, producción I+D, ...	Sistemas técnicos y programas
Control del producto	Control de productos	Reducción de inspecciones	Departamento de calidad	Muestreo y estadística
Inspección	Detección de fallas	Orientación al producto	Departamento de inspección	Medición y verificación

Fuente: gestión integral de la calidad. Implantación, control y certificación

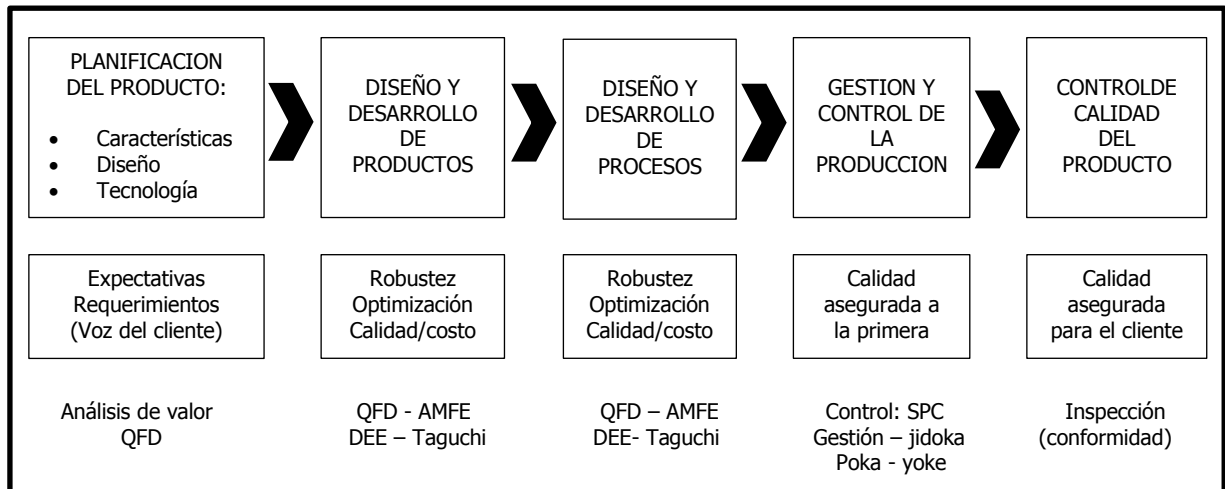
3.2.2. La calidad y su gestión

La correcta gestión de todos los aspectos relacionados con la calidad supone la planificación, diseño, y desarrollo de productos y procesos en el marco de una organización y gestión de los recursos humanos para la calidad, así como la adecuada implantación y control de calidad y su certificación final. Las cuales se representan en un orden secuencial en la **figura 15** con sus características requeridas y las herramientas para su manejo o implementación. Cuando se mencionan las expectativas del cliente, no solo se refiere a aquellas necesidades definidas de forma explícita por el cliente, sino a todas aquellas que potencialmente puedan satisfacerle.

Como consecuencia del aumento de la calidad se produce un incremento de la productividad y con ella la rentabilidad; aumentan porque disminuye las reparaciones de aquellos productos que salen defectuosos o no cumplen las especificaciones que deben pasar a una fase que resuelva el problema, con el consiguiente coste en tiempo y dinero que conlleva. Aunque la obtención de calidad representa por sí misma una inversión

determinada, la disminución de los enormes costos de control, inspección, recuperaciones, perdida de facturación, etc., que surgen por falta de calidad, son tan importantes que permiten rentabilizar la inversión realizada¹⁸

Figura 15. Etapas de la implantación de la calidad en la producción



Fuente: gestión integral de la calidad. Implantación, control y certificación

3.2.3. Costos de la calidad y de la no calidad

Los costos de la calidad se pueden considerar como costos producidos por la obtención de la calidad. Los costos de no calidad se consideran aquellos derivados de la falta o ausencia de la calidad, de la no conformidad o no cumplimiento de las necesidades de los clientes o, simplemente, de no alcanzar los niveles de la calidad requeridos. Los costos de no calidad se diferencian como costes internos y costes externos.

El incremento de la calidad general también disminuirá los costos de calidad provocados por la evolución o inspección, ya que se reduce el número de controles. Los clientes insatisfechos pueden incidir sobre otros clientes potenciales, extendiéndose la mala imagen de la empresa, con las graves consecuencias que ello pueda acarrear. La prevención requiere una inversión relativamente pequeña, pero suficientemente rentable en términos de disminución de los costes de no calidad y de los costos de calidad relacionados con la evaluación¹⁹.

¹⁸ CUATRECASAS, Lluís, gestión integral de la calidad: implementación, control y certificación, Barcelona, Profit editorial, 2010

¹⁹ IBID

Los costos de la calidad son por lo general costes previsible y controlables y dependen en gran medida del grado de inversión en la calidad que la empresa está dispuesta a llevar a cabo.

Costos de prevención: resultan de evitar o reducir errores y problemas de calidad en cualquier proceso, función o actividad de la empresa, mediante una planificación de la calidad. Algunos de los costos más significativos son:

- Costos derivados de departamento de calidad: formación y adiestramiento del personal en temas de calidad, equipamientos, consultores externos, etc.
- Mantenimiento preventivo
- Ingeniería y revisión de diseño del producto o servicio
- Costos derivados de los medios de control y herramientas como útiles, calibres de medición, etc.
- Revisión, orientación y evaluación de proveedores, así como del proceso de aprovisionamiento y las instalaciones correspondientes

Costos de evaluación: incluyen los costos de medición, análisis inspección y control de los servicios o productos ya elaborados, así como de los productos en recepción y en procesos de fabricación o semielaborados. La evaluación o elaboración por si mismas no crean calidad, sino que se limita a una labor informativa sobre el nivel de calidad que posee. Actúa como un filtro que permite el paso de los productos que cumplen con las tolerancias o especificaciones, pero no impiden que aparezcan los problemas por falta de calidad, tan solo evita que salgan productos defectuosos. Algunos de los costos de evaluación que se pueden considerar son:

- Auditorias de calidad
- Costos de inspección en recepción, fabricación y producto final
- Homologaciones y certificaciones
- Estudios y ensayos de fiabilidad y metrología, reajuste de equipos, etc.

Los costos de no calidad son aquellos que se derivan de la ausencia de calidad y, por tanto, de los fallos y errores en el diseño, desarrollo y producción, y que puedan trascender o no hasta el cliente o consumidor. También se incluyen los costos por falta de un adecuado servicio al cliente. Aquí se deben diferenciar entre los costos internos y externos, aunque más que costos se deberían considerar como pérdidas por fallos.

Costos de calidad interna es el que llega a detectarse antes de que el producto acceda al consumidor externo, representa un costo relativamente menor dentro de los costos de no calidad al no trascender al exterior y no alcanzar a los clientes. Se pueden considerar como costos o pérdidas internas los siguientes aspectos:

- Acciones correctivas, tanto de mano de obra como de material y maquinas
- Pérdidas de tiempo y subactividad por paro de la producción.
- Aceleraciones de la producción, fruto de los retrasos
- Variaciones en la planificación de producción
- Recuperaciones del material defectuoso proporcionado por los proveedores

- Reinspecciones y reensayos de los productos reprocesados
- Escaso aprovechamiento de los recursos

Costos de calidad externa constituyen el tipo de costos originados una vez que el producto o servicio trasciende al cliente o consumidor, estos son difíciles de evaluar y de una trascendencia realmente importante para las empresas, representan como mínimo un costo de una magnitud equivalente al mismo fallo a nivel interno, puede incrementarse de manera ostensible, dependiendo de la trascendencia que haya tenido en los clientes. Algunos de los más comunes costos o pérdidas externas que puede sufrir una compañía se enumeran a continuación:

- Costos de servicio postventa
- Pérdida de imagen de calidad como empresa
- Reparaciones y sustituciones en garantía, tratamiento de reclamaciones y quejas, indemnizaciones, gastos de pleitos y abogados
- Costos administrativos adicionales
- Costos en recuperar la imagen perdida.

La tabla 3. Muestra un estimativo en porcentaje de lo que representan los costos de mantener o implementar un sistema de calidad y los de las pérdidas debido a no tenerlo o a implementarlo de manera inadecuada.

Tabla 3. Costos totales de la calidad

Costos totales de calidad	Porcentaje aproximado
Costos de prevención	Menor del 5%
Costos de evaluación	10 % a 50%
Pérdidas externas	20% a 40%
Pérdidas internas	25% a 40%

Fuente: gestión integral de la calidad. Implantación, control y certificación

3.2.4. Enfoque de sistemas de gestión de la calidad

Un enfoque para desarrollar e implementar un sistema de la calidad comprende diferentes etapas tales como:

- Determinar las necesidades y expectativas de los clientes y de otras partes interesadas
- Establecer la política y los objetivos de la calidad de la organización
- Determinar los procesos y las responsabilidades necesarias para el logro de los objetivos de la calidad
- Determinar y proporcionar los recursos necesarios para el logro de los objetivos de la calidad
- Establecer los métodos para medir la eficacia y eficiencia de cada proceso
- Aplicar estas medidas para determinar la eficacia y eficiencia de cada proceso
- Determinar los medios para prevenir no conformidades y eliminar sus causas

- Establecer y aplicar un proceso para la mejora continua del sistema de gestión de la calidad.

Este enfoque también puede aplicarse para mantener y mejorar un sistema de gestión de la calidad ya existente.

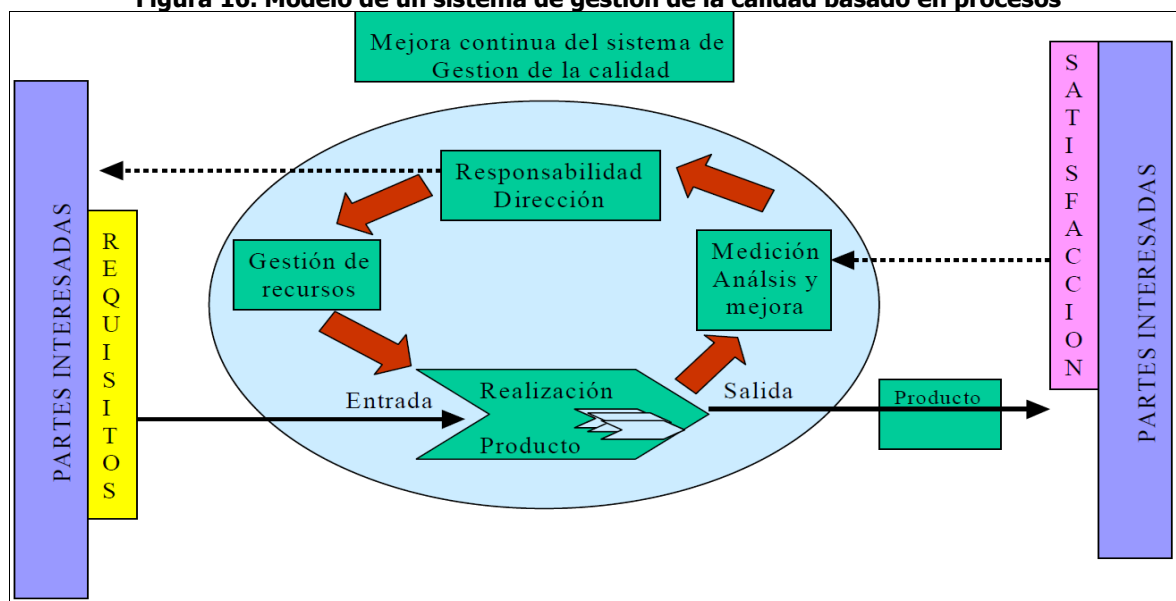
Una organización que adopte el enfoque anterior genera confianza en la capacidad de sus procesos y en la calidad de sus productos, y proporciona una base para la mejora continua. Esto puede conducir a un aumento de la satisfacción de los clientes y de otras partes interesadas y al éxito de la organización²⁰.

4.2.4.1 Enfoque basado en procesos

Cualquier actividad, o conjunto de actividades, que utiliza recursos para transformar elementos de entrada en resultados puede considerarse como un proceso.

Para que las organizaciones operen de manera eficaz, tienen que identificar y gestionar numerosos procesos interrelacionados y que interactúan. A menudo el resultado de identificar y gestionar numerosos procesos interrelacionados y que interactúan. A menudo el resultado de un proceso constituye directamente el elemento de entrada del siguiente proceso. La identificación y gestión sistemática de los procesos empleados en la organización y en particular las interacciones entre tales procesos se conoce como "enfoque basado en procesos"²¹

Figura 16. Modelo de un sistema de gestión de la calidad basado en procesos



Fuente: Norma internacional ISO 9000. Sistema de gestión de calidad – fundamentos y vocabulario.

²⁰ INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS Y CERTIFICACION, NTC-ISO 9000: sistemas de gestión de la calidad. Fundamentos y vocabulario, Bogotá D.C, ICONTEC, 2005.

²¹ IBID

4.2.4.2. Gestión de los procesos orientados al cliente

Se deberá tomar como punto de partida de toda la actividad empresarial y sus procesos el cliente final de los productos y servicios de la empresa y sus requerimientos y disponer la organización adecuada para que toda esta actividad este directamente encaminada a satisfacerlos rápida y eficiente.

Ello supone operar con estructuras organizativas “planas” y orientadas a los procesos (organización denominada “horizontal”). En efecto, un organigrama con pocos escalones jerárquicos (plano) facilitara la conexión “horizontal”, de acuerdo con la cual una persona o departamento no dependerá solo de su superior jerárquico, sino que estará en conexión horizontal con las personas o departamentos que conectan las actividades de los procesos, hasta la distribución y servicio al cliente, etapa final de todo el proceso.

Es evidente que todo ello se llevara a cabo con más rapidez y eficacia con la conexión directa de todos los elementos que intervienen en el proceso, que en una estructura jerárquica esencialmente “vertical”. En efecto en esta, cada persona o departamento recibe su carga de trabajo de su superior jerárquico, muchas veces sin saber para qué sirve y sin conexión con otros elementos de la cadena de suministro del cliente²².

La calidad resultante de los procesos dirigidos al cliente, en todos los aspectos que emanan de sus requerimientos, debe ser evaluada en tres aspectos:

- Calidad requerida por el mercado potencial de la empresa y sus procesos
- Calidad requerida por los clientes reales de la empresa y sus procesos
- Calidad percibida por los clientes actuales de los productos de la empresa

Esta última debería coincidir con la que la empresa cree que suministra al cliente, pero, con frecuencia, la percepción que tiene el mismo de la calidad que se le suministra es diferente.

Como elementos de importancia para tener en cuenta a la hora de evaluar estas tres calidades, podremos considerar:

- Elementos a determinar para la evaluación de la calidad y ponderación que otorgan los clientes o mercado.
- Criterios para la evaluación y ponderación
- Nivel de satisfacción que requiera el cliente o mercado
- Nivel de satisfacción que otorga la empresa y su comparación con el de empresas competidoras

²² INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS Y CERTIFICACION, NTC-ISO 9000: sistemas de gestión de la calidad. Fundamentos y vocabulario, Bogotá D.C, ICONTEC, 2005.

4. MARCO METODOLÓGICO

4.2. TIPO DE INVESTIGACION

Esta monografía se clasifica como cuantitativa-descriptiva ya que este trabajo busca sentar las pautas para la implementación de un sistema de calidad, en el cual se deben describir los procesos, medir resultados mediante indicadores con lo cual se podría determinar el nivel de calidad de los procesos y de los equipos terminados, para si es llegado el caso modificar o crear nuevos procedimientos y/o indicadores que permitan la constante retroalimentación del sistema de calidad

4.3. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

Las actividades a realizar para lograr los objetivos propuestos en esta tesis serán:

- Recolectar información acerca del estado actual de la gestión de la calidad en la empresa
- Identificar las variables que intervienen en el proceso de soldadura
- Identificar los puntos críticos que afectan la calidad para el proceso de soldadura
- Desarrollar un plan de trazabilidad para el proceso de soldadura
- Redactar manual de calidad para el proceso de soldadura
- Conclusiones y recomendaciones

4.4. TÉCNICA DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

La información se recopilara mediante la comunicación directa con los operarios y los ingenieros, ya que en la actualidad no se cuentan con registros precisos de entrada de material o duración de proyectos, no se puede aún cuantificar algunas variables, como material desperdiciado y tiempos de fabricación, entonces se deberá hacer algunos supuestos iniciales que deberán ser aterrizados a la realidad a medida que sistema de calidad se implemente. Mediante esta comunicación también se podrían identificar algunos puntos críticos iniciales los cuales se intervendrían y controlarían de forma inmediata

5. MARCO LEGAL Y NORMATIVO

A continuación se citaran las normas, estándares y códigos internacionales que aplican en el desarrollo de esta monografía:

Normas ICONTEC:

- NTC 1486: Documentación. Presentación de tesis, trabajos de grado y otros trabajos de investigación.
- NTC 5613: Referencias bibliográficas. Contenido, forma y estructura.
- NTC 4490: Referencias documentales para fuentes de información electrónicas.

Normas ISO

- ISO 9000: Sistemas de gestión de la calidad. Fundamentos y vocabulario.
- ISO 9001: Sistemas de gestión de la calidad. Requisitos.
- ISO 9004: Sistemas de gestión de la calidad. Directrices para la mejora del desempeño.
- ISO 10005: Sistemas de gestión de la calidad. Directrices para los planes de calidad.
- ISO 10006: Sistemas de gestión de la calidad. Directrices para la gestión de la calidad en proyectos.

Código ASME 2010 (American Society of Mechanical Engineers)

- Sección V. *Nondestructive examination*
- Sección IX. *Qualification Standard for Welding and Brazing Procedures, Welders, Brazers, and Welding and Brazing Operators*

Código AWS 2010

- Especificación AWS A5.1
- Código de construcción AWS D1.1

Código API

- API 1104: *Welding of pipelines and related facilities*
- API 12 F: *Specification for shop welded tanks for storage of production liquids*

6. PLAN DE CALIDAD PARA LAS CONSTRUCCIONES SOLDADAS EN LA EMPRESA PRODIMETAL LTDA.

6.2. DIAGNÓSTICO INICIAL DEL ESTADO DE LA GESTIÓN DE LA CALIDAD EN LA EMPRESA PRODIMETAL LTDA

En la actualidad el control de la calidad en la empresa se encuentra en la etapa de inspección y reparación, se está en el proceso de elaboración de procedimientos y formatos y en la concientización de todos los miembros de la empresa en que se debe hacer todo de la mejor forma siendo cada uno de ellos su propio supervisor de calidad.

Por ser una pequeña empresa con recursos limitados, el principal problema es la obtención de mano de obra calificada, la gran mayoría de soldadores no poseen estudios específicos, son totalmente empíricos que se han dedicado gran parte de su vida a esta labor, ya que tener en nómina soldadores calificados sería un costo que la empresa no podría conllevar, en cuanto a equipos y consumibles la gerencia ha hecho una gran inversión, pero debido a lo anterior los equipos "sufren" mucho debido a la impericia y poca capacitación de los operarios al manipularlos, en estos momentos se encuentra gestionando ante el SENA, la certificación por competencias, y la capacitación de la totalidad de los miembros de planta para poder elevar el nivel técnico de estos y poderles exigir un estándar más alto de calidad a su trabajo y así mismo mostrar a los clientes y potenciales clientes que esta es una empresa con mano de obra calificada, con estándares de calidad elevados.

Ver

ANEXO A

En las **figuras 17 y 18** se puede apreciar el desperdicio y la inadecuada manipulación de consumibles, esto se debe en mayor parte a la falta de una buena técnica en el proceso de soldadura y una inadecuada capacitación en el manejo de consumibles, por lo cual la capacitación será la parte fundamental en el desarrollo de un plan de calidad.

Figura 17. Desperdicio de consumible



Fuente: autor

Figura 18. Manipulación inadecuada de consumibles



Fuente: Autor

6.3. ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL DE LA EMPRESA Y FUNCIONES

6.3.4. Organigrama

Ver

ANEXO B

6.3.5. Funciones

- **Gerente general/ Gerente técnico:** con el ánimo de asegurar la confiabilidad en el cumplimiento de los objetivos del contrato, su equipo de trabajo, son los responsables por la implementación y la mejora del sistema de gestión de la calidad del proyecto y deberán ejecutar las acciones necesarias con base en las políticas del proyecto y las del cliente. El compromiso de la dirección del proyecto se puede evidenciar en la correspondencia generada durante el desarrollo del proyecto, actas de reunión, reportes de incidentes y su tratamiento así como la identificación de las oportunidades de mejora y otros registros pertinentes. Tiene como funciones:
 - Implementar las políticas definidas por la empresa en la ejecución del proyecto.
 - Coordinar las actividades del proyecto o del contrato aprovechando los recursos disponibles.
 - Representar a la empresa con los clientes.
 - Coordinar y controlar el cumplimiento de los objetivos por el contrato o proyecto en cuanto a tiempo, calidad y seguridad.

- **Coordinador QA/QC:** Se encarga de dar soporte de las actividades operacionales de la empresa al Director de Proyecto para implementar la política de calidad de la empresa en todas las ramas administrativa, técnica y de control proyecto. Sus principales responsabilidades son realizar en conjunto con la disciplina mecánica los reportes de inspección y control de la construcción, para entregar posteriormente a soporte administrativo y archivar con control documentos. Las tareas principales de aseguramiento de calidad para las juntas soldadas en el proyecto o contrato son:
 - Verificar/ inspeccionar la ejecución de las diferentes actividades y pruebas relacionadas con la construcción de equipos
 - Elaborar, desarrollar y controlar procedimientos por seguir en la realización de los ensayos no destructivos.
 - Supervisar la calificación de procedimientos y de personal.
 - Emitir informes de no conformidad y promover acciones correctivas y preventivas de acuerdo a la necesidad.
- **Gerencia administrativa y financiera:** actuar como representante del Gerente General) en negociaciones comerciales y contratación de personal. En conjunto con recursos humanos tiene responsabilidades como manejo de la correspondencia y papelería interna y externa, gestionar los requerimientos de mantenimiento preventivo/correctivo suministro de elementos, equipos de oficina y EPP, y otros tales como:
 - Asistir a la gerencia en el desarrollo de políticas de personal.
 - Diseñar las actividades de selección, entrenamiento, evaluación y clasificación del personal.
 - Manejo de la documentación y archivo de QA.
- **Coordinador HSEQ:** las responsabilidades para HSEQ son, sin limitarse a las exigidas por el cliente:
 - Conocer los riesgos ocupacionales e impactos ambientales de nuestra labor, prevenirlos y controlarlos de acuerdo a los programas de HSE.
 - Asistir y participar en las capacitaciones y entrenamientos programados por el SGI.
 - Reportar cualquier incidente (accidente, casi accidente, acciones o condiciones inseguras) e impactos ambientales que se presenten.
 - Conocer y acatar los estándares de seguridad para tareas críticas de la organización y/o del cliente (para el personal operativo).
 - Conocer y acatar los planes de emergencia de la organización y/o del cliente (para el personal operativo)
 - Usar y mantener en buen estado los elementos de protección personal – EPP (personal operativo).
 - Adoptar las buenas prácticas del manual de oficina verde y saludable para prevenir la contaminación y preservar el medio ambiente

- Elaborar y desarrollar un plan de seguridad industrial y medicina del trabajo, implementando la política de calidad.
- **Coordinador de producción:** su principal actividad es promover el suministro de todos los recursos necesarios en las realizaciones de un proyecto, tales como equipos de soldadura, materiales, consumibles, etc.

6.4. CARACTERIZACION DEL PROCESO DE ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD

Objetivo.

Controlar y garantizar que la calidad del producto este conforme con las disposiciones contractuales exigidas por el cliente, además con normas, códigos y especificaciones que se recomiendan y exigen según criterios de ingeniería del proyecto.

Alcance.

Desde la asignación del proyecto hasta la liberación del equipo antes de su embarque.

Diagrama de flujo.

Ver

ANEXO C

En la **tabla 4.** Se describe en detalle cada paso del diagrama de flujo de la empresa PRODIMETAL LTDA.

6.5. REQUERIMIENTOS DE PERSONAL PARA ÁREA DE SOLDADURA

- **Personal de inspección**

El personal de inspección de soldadura será calificado por la experiencia y por el entrenamiento para la tarea especificada de inspección que ellos realizan. Sus calificaciones serán aceptadas por la empresa e incluirá pero no se limitará a lo siguiente:

- Educación y experiencia
- Entrenamiento, procedimientos internos y/o los requeridos por el proyecto.
- Resultado de algunos exámenes de calificación

Tabla 4. Diagrama de flujo del proceso de aseguramiento de la calidad

No	ACTIVIDAD	DESCRPCIÓN ACTIVIDAD	RESPONSABLE	FORMATOS
1.	INICIO	NA	NA	NA
2.	RECEPCION DE PLANOS Y ESPECIFICACIONES CONTRACTUALES DEL PROYECTO	Se verifican que los planos tengan todas las especificaciones y observaciones necesarias para poder hacer un plan de control de calidad y se registran demás especificaciones exigidas por el dueño del proyecto.	Gerente de Producción. Coordinador de Calidad.	
3.	REALIZAR PLAN DE CONTROL DE CALIDAD	Se programa, evalúan y analizan programas de inspección y programa de soldadura.	Coordinador de Calidad.	
4.	¿SIRVEN LOS WPS's ?	Se verifican WPS's que hay en el departamento de calidad y los precalificados estén conforme con las especificaciones del proyecto.	Coordinador de Calidad.	
5.	¿SOLDADORES ESTAN CALIFICADOS?	Se verifican WPQ's de los soldadores que van a participar en el proyecto estén conforme con las especificaciones del procedimiento de soldadura (WPS) requerido para el proyecto.	Coordinador de Calidad.	
6.	HACER PRUEBAS DE HABILIDAD A LOS SOLDADORES (WPQ)	Se pide material, insumos y herramienta necesarios para la prueba, se le entrega el WPS, se le explica y se le aclaran dudas sobre la prueba, enseguida comienza prueba de habilidad y se le va verificando que cumpla con las variables que contempla el WPS, cuando termine de realizar la prueba y por último se le indica al soldador como debe de cortar el cupón para sacar las probetas.	Coordinador de Calidad.	
7.	DISEÑO PROCEDIMIENTO SOLDADURA (WPS)	Se hace comité en departamento de ingeniería para el análisis y evaluación de las variables esenciales, no esenciales y complementarias sugeridas para la soldadura del proyecto, también se estudia y decide si este ítem se hace externamente.	Gerente de producción, Coordinador de Calidad.	
8.	¿WPS PASA CALIFICACIÓN?	Se selecciona un soldador, enseguida se suelda cupón de prueba según WPS, se cortan cupones y sacan probetas que se requieran, enseguida se envían probetas a laboratorio certificado para que se le hagan las pruebas correspondientes.	Coordinador de Calidad.	
9.	¿SOLDADORES PASAN PRUEBA?	Al tiempo que se hace la prueba de habilidad al soldador se va haciendo una inspección visual desde la preparación de la junta hasta la terminación de la soldadura, durante este proceso el inspector de calidad según su criterio y el WPS puede dar por terminada la prueba siendo esta rechazada, enseguida se va a la prensa y se doblan probetas que posteriormente se doblan y se evalúan para determinar si el soldador pasa o no la prueba de habilidad.	Coordinador de Calidad.	
10	INSPECCIÓN SOLDADURAS	Se hace inspección visual a la totalidad de las soldaduras enseguida se hacen pruebas e inspecciones según plan de inspección.	Coordinador de Calidad.	
11	INSPECCIÓN DE MATERIALES Y INSUMOS	Se inspeccionan materiales según especificaciones enunciadas en orden de compra y planos.	Coordinador de Calidad.	
12	¿CUMPLE ESPECIFICACIONES?	Se da visto bueno y observaciones (si se requiere) en factura que va al almacén y al proveedor.	Coordinador de Calidad.	
13	RECHAZA	Se devuelven al proveedor materiales que no cumplan especificaciones.	Coordinador de Calidad.	
14	INSPECCIÓN DE TRAZADO Y CORTE	Se verifica trazado y corte según especificaciones de los planos.	Coordinador de Calidad.	

15	¿CUMPLE ESPECIFICACIONES?	Si cumple especificaciones del plano se libera a proceso de armado, si no se genera una no conformidad que debe de firmar el líder del grupo responsable y enseguida se reprocesa y se reinspecciona.	Coordinador de Calidad.	
16	INSPECCIÓN DE ARMADO	Se verifica armado según especificaciones enunciadas en los planos.	Coordinador de Calidad.	
17	¿CUMPLE ESPECIFICACIONES?	Si cumple especificaciones del plano se libera a proceso de soldadura, si no se genera una no conformidad que debe de firmar el líder del grupo responsable y enseguida se reprocesa y se reinspecciona.	Coordinador de Calidad.	
18	¿CUMPLE ESPECIFICACIONES?	Si cumple especificaciones del plano se libera al proceso de soldadura, si no se genera una no conformidad que debe de firmar el líder del grupo responsable y enseguida se reprocesa y se reinspecciona.	Coordinador de Calidad.	
19	INSPECCIÓN LIMPIEZA	Se verifica rugosidad de la superficie que se limpió.	Coordinador de Calidad.	
20	¿CUMPLE ESPECIFICACIONES?	Si cumple especificaciones del plano se libera al proceso de recubrimientos y acabados, si no se genera una no conformidad que debe de firmar el líder del grupo responsable y enseguida se reprocesa y se reinspecciona.	Coordinador de Calidad.	
21.	INSPECCIÓN RECUBRIMIENTOS Y ACABADOS	Se verifican espesores entre capas de pintura y adherencia entre las mismas .	Coordinador de Calidad.	
22	¿CUMPLE ESPECIFICACIONES?	Si cumple especificaciones del plano se libera al proceso de liberación, si no se genera una no conformidad al grupo responsable y enseguida se reprocesa y se reinspecciona.	Coordinador de Calidad.	
23	INSPECCIÓN FINAL DE LIBERACIÓN	Se verifica con lista de chequeo el producto terminado.	Coordinador de Calidad.	
24	¿CUMPLE ESPECIFICACIONES?	Si cumple especificaciones de la lista de chequeo se libera producto del proceso de control de calidad, si no se genera una no conformidad al grupo responsable se reprocesa y se reinspecciona.	Coordinador de Calidad.	
25	REVISIÓN FINAL Y ENTREGA DEL DOSSIER DE CALIDAD AL CLIENTE	Se revisa, evalúa y recopilan todos los reportes, procedimientos y demás documentos de calidad generados durante el proyecto específico.	Coordinador de Calidad.	
26	FIN	NA	NA	

Fuente: autor

- **Personal de ensayos no destructivos**

El personal de ensayos no destructivos será certificado de acuerdo con las recomendaciones de las ASTN según la práctica recomendada SNT-TC1A para la prueba del método usado. Únicamente personal de Nivel II o III interpretará los resultados de la prueba. Un registro del personal certificado en ensayos no destructivos será conservado por la empresa. Este registro incluirá los resultados de las pruebas certificadas, la agencia, la persona que otorga la certificación y la fecha de certificación. El personal de ensayos no destructivos puede ser solicitado para ser certificado si surge alguna duda sobre su habilidad o como opción para la

empresa, al comienzo de la planificación de un proyecto o una construcción. El personal de ensayos no destructivos será certificado al menos cada tres años.

- **Soldadores.**

El personal de soldadura deberá estar certificado por una entidad reconocida en procesos de soldadura y tener una experiencia específica de mínimo un año como soldador, de preferencia sin haber dejado de trabajar por más de dos meses, prestando especial atención a los soldadores que se vayan a desempeñar en el área de la soldadura de tubería, en la cual se recomienda una experiencia mínima de tres años en esta especialidad.

6.6. CALIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTOS Y DE SOLDADORES

6.6.4. Calificación de procedimientos de soldadura

Antes de iniciar la producción de una soldadura, será establecida y calificada una especificación detallada del proceso de acuerdo al Código / estándar que aplique API 1104, ASME IX o AWS D1.1, para demostrar que se puede realizar la soldadura con adecuadas propiedades mecánicas tales como resistencia, ductilidad, dureza y buenas condiciones de servicio con el procedimiento. La calidad de la soldadura debe ser determinada por ensayos destructivos. Este procedimiento será seguido fielmente, excepto donde el cambio sea específicamente autorizado por la compañía. Las actividades de la calificación de procedimiento de soldadura a seguir son:

- Presenciar e inspeccionar la soldadura para asegurarse que es llevada a cabo con el procedimiento escrito.
- Asegurarse que las pruebas de soldadura han tenido Ensayos no Destructivos probados antes de cortar mecánicamente probetas de ensayo.
- Marcar las áreas para hacer la evaluación en probetas.
- Llevar a cabo chequeos dimensionales en probetas de prueba mecánica.
- Presenciar pruebas mecánicas.
- Reportar los resultados.

El WPS y El procedimiento calificado para la empresa fue bajo norma ASME sección IX, se realizó en tubería en posición 6G ya que con esto se cubrían todas las posiciones en platina y se seleccionó un espesor que cubriera todas las necesidades actuales de la empresa.

Ver

ANEXO D

Figura 19. Preparación de la probeta para la calificación del procedimiento



Fuente: autor

6.6.5. Calificación de soldadores

Los soldadores son calificados para determinar su habilidad en la ejecución de soldaduras sanas usando un procedimiento de soldadura previamente calificado, de acuerdo al Código / estándar que aplique API 1104, ASME IX o AWS D1.1. Las actividades de la calificación de soldadores a seguir son:

- Asegurarse que las pruebas de calificación de soldadores sean presenciadas e inspeccionadas.
- Asegurarse que cada prueba sea identificada con el nombre del soldador y/o número.
- Hacer una lista de todos los soldadores que pasan o que pierden con el correspondiente número y formular una lista de soldadores calificados.
- Reportar las razones de desaprobación.
- Asegurarse que las probetas de prueba hayan sido interpretadas y/o radiadas antes del corte de las probetas para ensayos mecánicos y debidamente presenciadas por la compañía o un inspector autorizado.
- Marcar las áreas para el corte de probetas de ensayo, debidamente estampadas.
- Llevar a cabo chequeos dimensionales de las probetas de ensayo.
- Presenciar las pruebas mecánicas.
- Reportar hallazgos de acuerdo con las especificaciones técnicas del cliente.
- Entregar la documentación final al responsable para procesarlo y luego archivarlo de acuerdo con el procedimiento de documentación de la Compañía.

La calificación de los soldadores se harán con el WPS propio de la empresa mediante prueba de habilidad y ensayo de dobles de cara y raíz, en la actualidad se encuentra en fabricación el dispositivo que permita llevar a cabo este dobles en la empresa bajo

parámetros de la norma ASME SECCION IX. Esta norma no permite ningún tipo de discontinuidad que sea detectada por inspección visual , los parámetros de aceptación para el ensayo de dobléz de cara y raíz, se darán en el numeral 6.6.6

Ver

ANEXO E

En caso de que el defecto en la soldadura sea detectado solo hasta después de la prueba de doblado, al soldador se le dará la oportunidad de realizar otra prueba, si de nuevo la soldadura sale con defectos el soldador será descartado. Si por otra parte, la discontinuidad o defecto es detectado durante la prueba y a criterio del inspector de la prueba se le dará la oportunidad al soldador de romper la probeta y prepararla por el lado que no fue soldado, si de nuevo presenta defecto ya sea durante la soldadura o en la prueba de dobléz el soldador será descartado.

Figura 20. Resultado de ensayo de dobléz de cara y raíz



Fuente: el autor

6.6.6. Criterios de aceptación en calificación de procedimientos de acuerdo al código ASME IX. "WELDING AND BRAZING QUALIFICATIONS"

Se tomara como referencia estos criterios ya que el procedimiento de la empresa está bajo esta norma, que es la que cumple con las exigencias de la mayoría de los clientes, en dado caso que el cliente lo pida se cambiara a la norma que el cliente solicite. A continuación se referirán los criterios para ruptura dobléz y radiografía que son las más utilizadas en la calificación tanto de procedimientos como de soldadores. Estos criterios son tomados directamente del código ASME sección IX versión 2010, por lo cual la nomenclatura será la misma que la del código.

QW-150 TENSION TESTS

QW-153 CRITERIOS DE ACEPTACION: Los valores mínimos para la calificación de los procedimientos están en las tablas QW/QB-422 bajo el título "mínima tensión especificada KSI" el orden para pasar la prueba de tensión el espécimen deberá tener un esfuerzo que no se menor a:

- El mínimo esfuerzo de tensión especificado será el del metal base.
- Si los metales base tienen diferente esfuerzo de tensión se aceptara que el mínimo esfuerzo de tensión sea el del más débil de los dos materiales a unir.
- El mínimo esfuerzo especificado del metal de soldadura cuando la sección del código aplicable provea el uso de metal de soldadura con un esfuerzo de más bajo a temperatura ambiente del metal base.
- Si el espécimen rompe en el metal base, fuera del metal de soldadura o la soldadura de interfase, el test será aceptado con un esfuerzo no mayor al 5% por debajo del esfuerzo mínimo especificado de tensión del metal base.
- El mínimo esfuerzo de tensión es para el espesor completo de material incluyendo los *cladding* aluminio *alclad* (P-No 21 hasta P-No 23) menores a 1/2" (13mm). Para materiales de un espesor mayor el mínimo esfuerzo de tensión especificado es para ambos espesores que incluyen el *cladding* y especímenes tomados del núcleo.

QW-160 GUIDED-BEND TESTS

QW-163 CRITERIOS DE ACEPTACION: La soldadura y la ZAC del dobles de soldadura transversal del espécimen estará completamente dentro de la porción doblada después de la prueba.

Los especímenes no deberán tener discontinuidades abiertas en la soldadura o en la ZAC que excedan 1/8in (3mm), medido en cualquier dirección sobre la superficie convexa del espécimen después de doblado. Las discontinuidades abiertas ocurridas en las esquinas de los especímenes durante la prueba no deberán ser tenidas en cuenta a menos que evidencien falta de fusión, inclusiones de escoria u otras discontinuidades internas.

Para recubrimientos de soldadura resistentes a la corrosión en *cladding* ninguna discontinuidad abierta debe exceder 1/16in (1.5mm), medida en cualquier dirección deberá ser permitida en el *cladding* y ninguna discontinuidad abierta deberá exceder 1/8in (3mm) a lo largo de la soldadura de interfase.

QW-170 NOTCH-TOUGHNESS TESTS

QW-172.2 ACEPTACION: Los criterios de aceptación estarán en concordancia con la que la Sección de construcción requiera.

QW-180 FILLET-WELD TESTS

QW-182 FRACTURE TEST: Los especímenes de fractura no deberán mostrar en la superficie grietas o incompleta fusión en la raíz y que la suma de las longitudes de

inclusiones y porosidad visible en la superficie fracturada no exceda 8/8in (10mm) o el 10% de la cuarta parte de la sección.

QW-183 MACRO-EXAMINATION PROCEDURE SPECIMENS

La examinación visual en la sección transversal del metal de soldadura y la ZAC mostrara completa fusión y libre de grietas.

No habrá más de 1/8in (3mm) de diferencia entre las piernas del filete.

QW-191 RADIOGRAPHIC EXAMINATION

QW-191.2.2 CRITERIOS DE ACEPTACION:

Indicaciones redondeadas:

El máximo dimensión será del 20% del espesor o 1/8in (3mm) el que sea menor.

Para soldaduras en un material menor a 1/8in (3mm) de espesor, el máximo número de indicaciones redondeadas aceptables no excederá 12in a 6in (150mm) de longitud de soldadura. Un número menor proporcional de indicaciones redondeadas será permitido en las soldaduras menores a 6in (150mm) de longitud.

Para soldaduras en un material mayor a 1/8 in (3mm) o mayor en espesor, las cartas del apéndice I representan los máximos tipos de discontinuidades.

Indicaciones lineales:

Cualquier tipo de grieta o zona de incompleta fusión o penetración será causa de rechazo.

Una inclusión alargada de escoria cuya longitud exceda: 1/8in (3mm) para espesor hasta 3/8in (10mm), inclusive / 1/3 del espesor para espesores mayores a 3/8in (10mm) a 2 1/4in (57mm) / 3/4in para espesores mayores de 2 1/4in.

Cualquier grupo de las inclusiones de escoria en línea que tengan una longitud agregada mayor que el espesor en una longitud de 12 veces el espesor, excepto cuando la distancia entre las imperfecciones sucesivas excedan 6L donde L es la longitud de la imperfección más larga en el grupo. Esto se ve mas en detalle en la **Figura 19**

6.7. INSPECCION EN FABRICACION

6.7.4. Inspección antes de la soldadura

Se deberá verificar antes de comenzar cualquier actividad de soldadura:

- Selección del procedimiento(s) de soldadura apropiado.
- El o los procedimientos de soldadura deben estar debidamente calificados y aprobados tanto por la empresa como por el cliente.
- Calificar a los soldadores bajo dicho procedimiento
- Poner a disposición de los soldadores el procedimiento(s)

- Dejar debidamente claro a todos los que intervengan en el proceso cuales van a ser los parámetros de aceptación y el procedimiento de reparación
- Verificación de equipos de soldadura.
- Verificación de estado de consumibles

En el caso de trabajo en tubería, se deberá llevar a cabo la Inspección de alineamiento, la cual debe ser realizada inmediatamente después del alineamiento de tuberías, todos los extremos sin recubrimiento de tubería deben ser inspeccionados interna y externamente buscando desportilladuras, abolladuras, daños generales, laminaciones u otros defectos superficiales. Las superficies internas deberán ser limpiadas hasta una distancia de 40 mm desde el extremo. Toda pintura, grasa y corrosión deben ser removidas.

Se verifica lo siguiente:

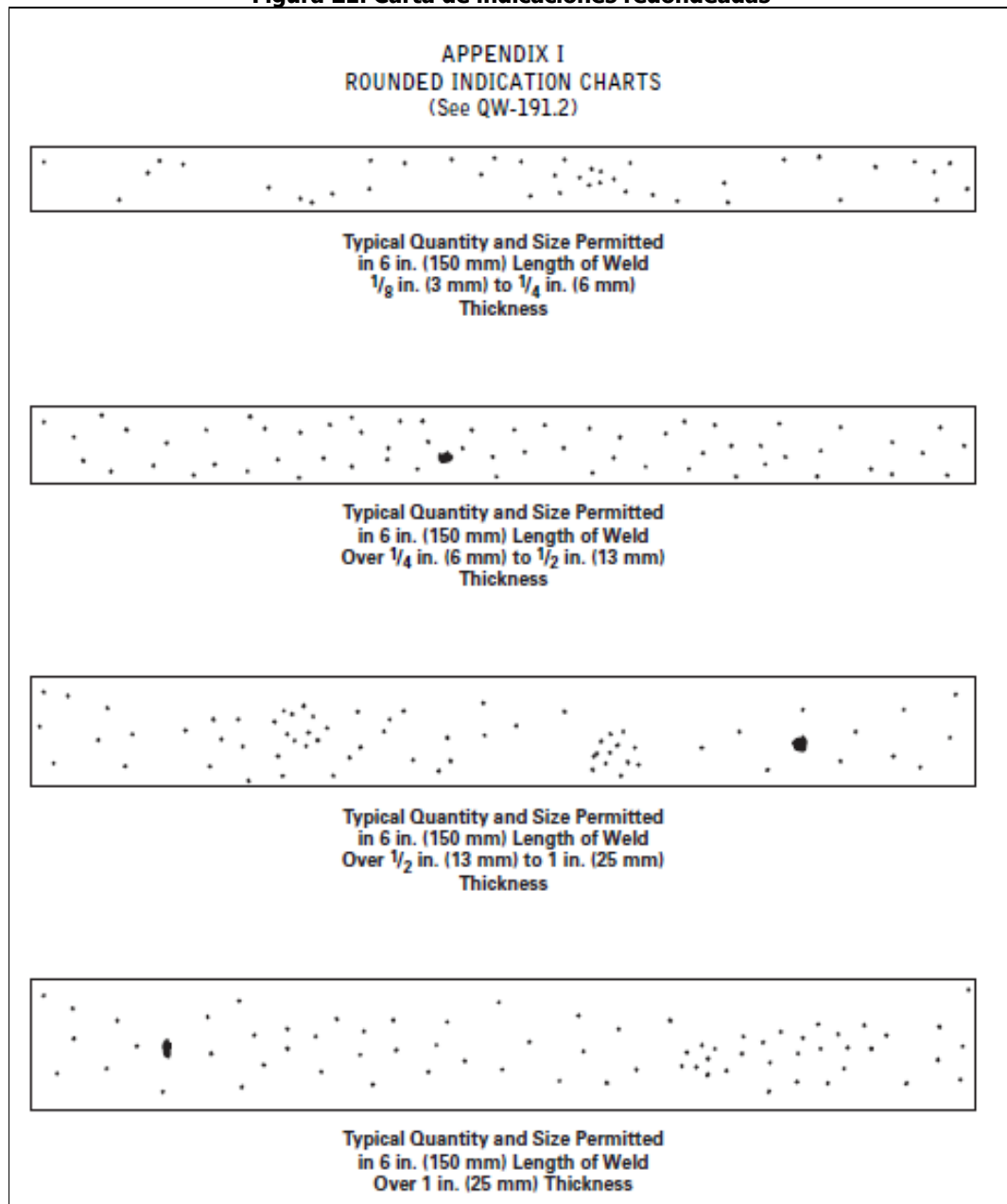
- Examinar la existencia de rebabas (entallas), resaltes o irregularidades sobre el bisel preparado para la soldadura.
- Examinar la existencia de abolladuras y torceduras en el borde del bisel. El ángulo del bisel en campo no debe diferir del bisel original sin la aprobación de la Compañía y cumplir con el diseño aprobado de junta de soldadura.
- Examinar la existencia de daños por cortes de juntas y/o del bisel. Si la Compañía permite reparar entallas, marcas de golpes, abolladuras, cortes dentro del área de soldadura del bisel, el espesor de la pared debe ser revisado por ultrasonido.
- En donde la tubería es cortada para uniones, etc., el nuevo bisel debe ser examinado por Ultrasonido de acuerdo con los estándares y procedimientos de Ultrasonido de o la determinación de la Compañía.

En la Separación de biseles y uso de grapas, después de grapar interna o externamente los dos tubos a soldar, la abertura de raíz debe ser chequeada y debe cumplir con el diseño de junta aprobado por la Compañía.

Se verifica lo siguiente:

- Usando ya sea una galga pasa-no-pasa o cualquier medidor fabricado especialmente, la abertura debe ser medida después del precalentamiento en cuatro sitios alrededor de la circunferencia del tubo. La abertura debe llegar a la tolerancia especificada en el procedimiento y diseño de soldadura. Estas pruebas serán llevadas a cabo en un chequeo al azar basado en la línea principal, donde la grapa de neumáticos interno de tipo (CRC Crose) se usarán normalmente.
- Las aberturas y la presencia de desalineamientos en uniones se chequearán. Sin embargo, los biseles serán previamente inspeccionados. El desalineamiento no debe exceder de 1.5 mm sin la acción correctiva. En empates y fabricaciones, se usa generalmente una abrazadera externa de tipo hidráulico.
- El retiro de la abrazadera y el bajado del tubo estarán de acuerdo con el procedimiento de soldadura.

Figura 21. Carta de indicaciones redondeadas



Fuente: ASME IX. "WELDING AND BRAZING QUALIFICATIONS"

7.6.2 Inspección durante la soldadura

Después de depositar la soldadura durante la Limpieza entre pases, la superficie de la unión debe ser totalmente limpiada de salpicaduras, escorias u otros contaminantes.

Se verifica lo siguiente:

- Entre cada pase, inspeccione visualmente toda la superficie de la soldadura después de la limpieza.
- También inspeccione por marcas de arco eléctrico las cuales pudieran haber ocurrido durante la soldadura.

Criterio de aceptación:

- La superficie de soldadura debe estar libre de escoria y cualquier otro contaminante.
- No se permiten marcas de arcos eléctricos más que entre la preparación de los biseles de soldadura. Las marcas de arcos eléctricos se deben reparar, donde lo permita el procedimiento del cliente, por medio de esmerilado, previniendo que el espesor no sea reducido debajo del mínimo especificado.

Durante el relleno de los cordones para el Precalentamiento y Temperatura entre pases, antes de empezar la soldadura en el caso de requerirse los extremos de la tubería deben ser precalentados por lo menos 100 mm a cada lado de la soldadura. La temperatura indicada en el procedimiento de soldadura se debe mantener a lo largo de la soldadura.

Se verifica lo siguiente:

- Controlar que los electrodos sean correctamente manejados y almacenados en hornos-termos después del desempaque.
- Revisar la temperatura de precalentamiento con el uso de crayones indicadores de temperatura u otro método conveniente.
- Revisar la temperatura entre pases durante el procedimiento de soldadura.
- El precalentamiento se debe aplicar usando antorchas de gas. El gas normalmente será propano.
- El calentamiento de inducción podría usarse como una alternativa.
- El Inspector de soldadura debe controlar la numeración de todas las juntas soldadas usando materiales indelebles, Ej.: pintura.

Cuando la operación lo exija, el inspector de soldadura debe asegurarse que los siguientes ítems se adhieran a las especificaciones y procedimientos:

- Verificación de Características Eléctricas de los Moto soldadores
- Preparación de biseles.
- Limpieza de biseles.
- Precalentamiento y entre pases.
- Electrodos de soldadura, tipo, diámetro y condiciones.
- Limpieza de entre pases.
- Separación de juntas.
- Operación y accionamiento de grapas la alineación.
- Perfil de soldadura.

- Mantener una lista de número y largo de tubos con secciones y número de juntas cuando se requiera. Al igual que la identificación "estampe" del soldador que llevo a cabo la junta
- Verificación de hornos de secado y mantenimiento de electrodos.

Si durante la inspección en producción o mediante los resultados radiográficos obtenidos si estos fueron realizados, se detectan defectos en la soldadura, para el caso que los defectos sean superficiales tales como exceso de salpicadura, poros superficiales, etc., el defecto debe ser removido inmediatamente y reparado por el mismo soldador que efectuó la soldadura en principio, esta operación solo se puede efectuar una vez, si el defecto vuelve a ocurrir, el soldador será relevado de su trabajo, el máximo numero de reparaciones para defecto superficiales será de tres, a partir de ahí, la sección soldada deberá ser remplazada, para el caso de las tubería o laminas, se deberá contar 20 cm de cada lado de la tubería y remplazarlo por una sección de 40 cm, o si la unión va a un accesorio, se deberá cambiar el accesorio por uno nuevo, este procedimiento debe ser documentado y llevar un reporte de eficiencia de cada operario, el cual será evaluado mensualmente, si los defectos son encontrados mediante inspección radiográfica o ultrasonido (defectos internos), la soldadura debe ser removida en su totalidad, esta operación solo se puede efectuar una vez, si el defecto vuelve a ocurrir, la pieza a soldar deberá ser cambiada, en el caso de las tubería o laminas, se deberá contar 20 cm de cada lado de la tubería y remplazarlo por una sección de 40 cm, o si la unión va a un accesorio, se deberá cambiar el accesorio por uno nuevo y el soldador será relevado de su trabajo, este procedimiento debe ser documentado y llevar un reporte de eficiencia de cada operario, el cual será evaluado mensualmente

7.6.3 Reportes de inspección y control

Estos deben de ser claros y concisos y deben incluir la siguiente información cuando aplique:

- Nombre del inspector (en imprenta y firmado).
- Fecha.
- Contrato.
- Condiciones del clima.
- Identificación y ubicación de accesorios en planos
- Número de identificación de soldaduras y ubicación en planos
- Todos los defectos importantes, estableciendo área y región.
- Cualquier retraso de producción

8 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En referencia a lo anteriormente citado se puede concluir lo siguiente:

- Dada la necesidad de elevar el nivel técnico de la empresa se debe buscar la capacitación certificada, de si es posible todo el personal involucrado en el área de producción, así como la constante evaluación mediante indicadores de desempeño de todo el personal con el fin de controlar o detectar posibles fallas en el plan de calidad debido al bajo rendimiento de los operarios.
- Para una optima aplicación de un plan de calidad, se deben comprometer e involucra a todas las áreas y niveles de la empresa, concientizando al personal que la calidad es un valor agregado y no verlo como un gasto o sobre costo, convirtiendo el aseguramiento de la calidad en todos los procesos de la empresa en una política en busca de una mejora continua.
- Elaborar los procedimientos de soldadura y las calificaciones de los soldadores bajo un código de fabricación internacional se convierte en una herramienta indispensable en el aseguramiento de la calidad de las uniones soldadas, las cuales facilitan y unifican criterios para la elaboración e interpretación en de las especificaciones y los criterios de aceptación para los encargados de controlar y evaluar la calidad en el proceso de soldadura.
- Se recomienda un especial tratamiento a la capacitación en cuanto a manejo de equipos y consumibles, ya que estos dos parámetros son los que mas afectan los costos en cuanto a las construcciones soldadas, un buen manejo de los parámetros de los equipos de soldadura así como el correcto almacenaje y manipulación de los consumibles permite obtener reducción en el costo de los proyectos representado esto no solo en dinero, si no, también en reducción de tiempos de producción y obviamente una mayor fiabilidad en las construcciones soldadas

GLOSARIO

COALESCENCIA: formar un solo cuerpo de los materiales que están siendo soldados

DEFECTO: se entiende como una o más discontinuidades que debido a su naturaleza o a su efecto acumulativo deja una parte de la unión incapaz de reunir las condiciones mínimas de aplicación requeridas en los códigos aplicados.

DISCONTINUIDAD: es considerada como una interrupción en la estructura cristalina típica de una junta soldada y se caracteriza por una falta de homogeneidad en las propiedades mecánicas, metalúrgicas o físicas de los materiales involucrados. Una discontinuidad no necesariamente constituye un defecto. Es aquella que por su mínima naturaleza queda dentro de los límites de tolerancia y aceptación que especifican los códigos de soldadura.

FLUX CORE ARC WELDING (FCAW): proceso de soldeo por arco el cual produce unión de los metales por calentamiento con un arco entre un electrodo de metal de aporte continuo (consumible) y las piezas de trabajo. La protección es suministrada por un fundente contenido dentro del electrodo tubular. Una protección adicional puede o no ser obtenida de un gas o mezcla de gases suministrado externamente

FUSION: fundición conjunta del metal de aporte y el metal base (pieza de trabajo) o del metal base solamente, de la cual resulta la unión

GAS METAL ARC WELDING (GMAW): proceso de soldeo por arco el cual produce unión de los metales por calentamiento con un arco entre un electrodo de metal de aporte continuo (consumible) y las piezas de trabajo. La protección se obtiene completamente de un gas o mezcla de gases suministrados externamente. Algunas variaciones de este proceso son llamadas soldadura MIG o con CO₂

MICROESTRUCTURA: es el acomodamiento total de los granos, los límites de grano y fases presentes en una aleación metálica, es ampliamente responsable de las propiedades de la aleación, es afectada por la composición o contenido de aleantes y por otros factores tales como operaciones de conformado y tratamientos térmicos.

SUMERGED ARC WELDING (SAW): proceso de soldadura por arco en el cual se produce la unión de los metales por calentamiento con un arco o arcos entre electrodos o electrodos de metal base y la pieza de trabajo. El arco y el metal fundido son protegidos por una cubierta de material granular sobre la pieza de trabajo. Se puede o no usar presión, y el metal de aporte es obtenido del electrodo y en algunas de una fuente(s) suplementaria(s)

TRAZABILIDAD: es el conjunto de aquellos procedimientos preestablecidos y autosuficientes que permiten conocer el histórico, la ubicación y la trayectoria de un producto o lote de productos a lo largo de la cadena de suministros en un momento dado, a través de unas herramientas determinadas

ZONA AFECTADA POR EL CALOR (ZAC): es aquella porción del metal base que no ha sido fundido, pero cuya microestructura o propiedades mecánicas han sido alteradas por efectos del calor

BIBLIOGRAFÍA

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS Y CERTIFICACION, trabajos escritos: presentación y referencias bibliográficas, Bogotá D.C, ICONTEC, 2008.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS Y CERTIFICACION, NTC: 229 Soldadura. Terminología y definiciones, Bogotá D.C, ICONTEC, 1986.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS Y CERTIFICACION, NTC 1958: símbolos normalizados para soldeo, soldeo fuerte, y ensayos no destructivos, Bogotá D.C, ICONTEC, 2008.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS Y CERTIFICACION, NTC-ISO 9004: sistemas de gestión de la calidad. Directrices para la mejora del desempeño, Bogotá D.C, ICONTEC, 2000.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS Y CERTIFICACION, NTC-ISO 9001: sistemas de gestión de la calidad. Requisitos, Bogotá D.C, ICONTEC, 2000.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS Y CERTIFICACION, NTC-ISO 9000: sistemas de gestión de la calidad. Fundamentos y vocabulario, Bogotá D.C, ICONTEC, 2005.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS Y CERTIFICACION, GTC 110: Soldadura. Guía para la inspección visual de soldadura, Bogotá D.C, ICONTEC, 2004.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS Y CERTIFICACION, NTC 2120: Soldadura. Guía para la inspección de soldadura mediante ensayos no destructivos, Bogotá D.C, ICONTEC, 1994.

GOMEZ MORENO, Orlando José, metalurgia de la soldadura, Bucaramanga, universidad industrial de Santander, 1989.

AMERICAN WELDING SOCIETY, manual de soldadura tomo I, Bogotá D.C, Prentice-hall hispanoamericana, S.A, 1996.

CUATRECASAS, Lluís, gestión integral de la calidad: implementación, control y certificación, Barcelona, Profit editorial, 2010

AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS, ASME 2010 Sección IX: Qualification Standard for Welding and Brazing Procedures, Welders, Brazers, and Welding and Brazing Operators, ASME, 2010

ANEXOS

ANEXO A. CERTIFICACION LABORAL POR COMPETENCIAS DEL SENA

ANEXO B. ORGANIGRAMA PRODIMETAL LTDA

ANEXO C. DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE FABRICACION

ANEXO D. WPS Y PQR PRODIMETAL LTDA

ANEXO E. MEDIDAS PARA MATRIZ DE DOBLEZ SEGÚN ASME 2010 SECCION IX